SOMMARIO

INTRODUZIONE

A partire dagli anni 70 del XX secolo, con la prima grave crisi di approvvigionamento del petrolio, si è capito che non si disponeva di risorse energetiche infinite. Attualmente però è la questione ecologica che spinge buona parte dei paesi industrializzati a promuovere politiche di risparmio energetico; basti pensare che nel 1999 le emissioni di biossido di carbonio hanno raggiunto 25 miliardi di tonnellate.

Le Nazioni Unite (ONU) già nel 1992 hanno organizzato a Rio de Janeiro la “Conferenza mondiale sull’ambiente e lo sviluppo”. I 173 stati partecipanti hanno approvato la “Convenzione quadro sui cambiamenti climatici” (UN-FCCC[1]) e hanno firmato un programma d’azione “Agenda 21: azioni per il XX secolo per lo sviluppo sostenibile, l’efficienza economica, l’equilibrio sociale, il rispetto dell’ambiente”, intendendo per “sviluppo sostenibile e durevole” lo sviluppo economico che rispondendo alle esigenze delle popolazioni attuali non comprometta la capacità di quelle future di rispondere ai propri bisogni.

Per attuare il programma concordato, ogni Stato firmatario, e ogni Regione, si sono impegnati a elaborare programmi di azione locali chiamati “Agenda 21”. Per quanto riguarda invece l’attuazione della Convenzione quadro, è stata istituita la “Conferenza delle parti” che ha promosso l’elaborazione del “Protocollo di Kyoto” e l’ha approvato nella sessione plenaria tenuta a Kyoto nel 1997.

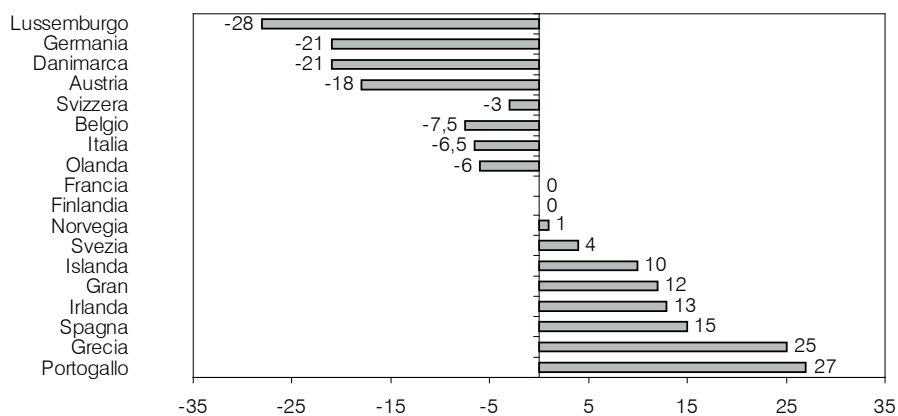
Il protocollo divide i paesi in “Annex I”, quelli industrializzati o con economia in transizione, e “non Annex I”, non industrializzati, e impegna i primi a ridurre entro il 2010 le emissioni di “gas a effetto serra[2]” in media del 5% rispetto ai valori del 1990. In particolare, l’Unione Europea si è impegnata per una riduzione dell’8% e, con la ratifica del protocollo del 2002, ha assegnato all’Italia una riduzione del 6,5%.

Con l’entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, avvenuta nel 2005 in seguito alla firma della Russia, l’Italia è tenuta a rispettare gli impegni presi, ma attualmente

1_ Percentuale di riduzione delle emissioni di “gas a effetto serra” dei paesi industrializzati e non industrializzati

Paesi industrializzati		Paesi in transizione		Paesi in sviluppo
Unione Europea	-8%	Federazione Russa	0%	nessun limite
Stati Uniti d’America	-7%	Nuova Zelanda	0%	
Giappone	-6%	Ucraina	0%	
Norvegia	+1%			
Australia	+8%			
Islanda	+10%			

1

2

2_ Percentuale di riduzione delle emissioni di "gas a effetto serra" attribuita a ciascuna nazione europea

3_ Emissioni di gas serra da processi energetici per settore economico in Italia

è in grave ritardo: secondo i dati riportati nell'Annuario dei dati ambientali del 2005-06, le emissioni di gas serra nel 2003 sono aumentate rispetto a quelle del 1990 del 14%.

Per raggiungere l'obiettivo l'Unione Europea e l'Italia hanno attuato politiche per la riduzione delle emissioni basate sulla sostituzione dei combustibili fossili con altre fonti energetiche meno inquinanti e sul risparmio energetico.

Secondo i dati relativi al 2004, in Italia i prodotti derivati del petrolio sono la principale fonte di energia, ma, come si può vedere nella tabella (4), il loro utilizzo decresce costantemente a favore di combustibili meno inquinanti come il gas naturale, che sono destinati a diventare il principale combustibile, e delle fonti

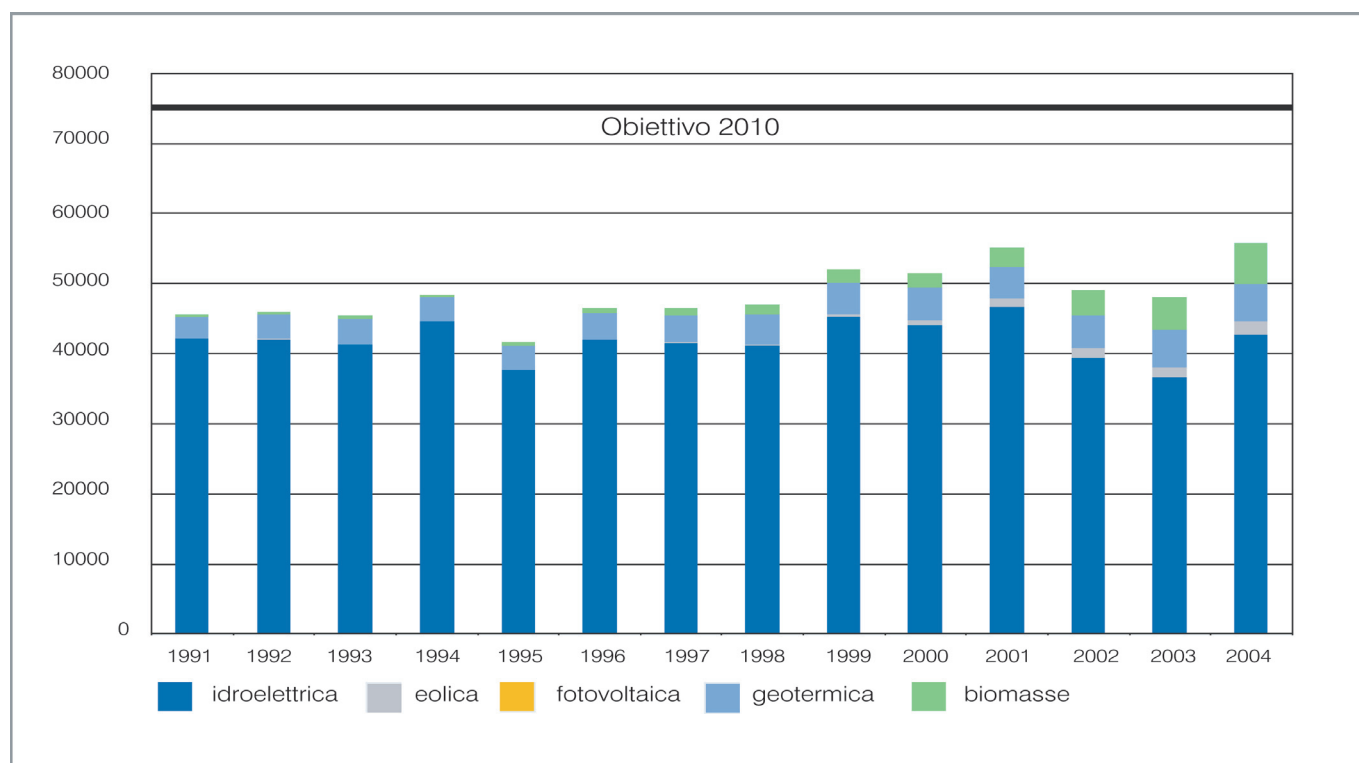
Emissioni di gas serra da processi energetici per settore economico in Italia					
Anno	Industrie energetiche	Industrie manifatturiere	Residenziale e servizi	Trasporti	TOTALE
	MtCO^2 equivalente				
1990	147,2	86,7	79,4	105,7	419
1991	141,5	84,3	85	108,3	419,1
1992	141,2	82,1	81,4	112,7	417,4
1993	135,9	83,1	81,1	114,8	414,9
1994	137,1	84,7	71,5	114,9	408,2
1995	151,2	89,6	78,5	116,7	436
1996	146	86,2	80,3	117,8	430,3
1997	147,2	89,6	77,5	120	434,3
1998	157,4	82,9	80,3	123,8	444,3
1999	153,4	88,2	84,8	125,2	451,5
2000	160,9	90,8	81	125,1	457,8
2001	163,5	87,2	83,6	127,4	461,7
2002	169,4	81,7	80,8	129,6	461,5
2003	171,5	86,9	87,3	131,2	476,9
Variazioni in percentuale 1990-2003	17%	0%	10%	23%	14%

3

4_ Fabbisogno di energia primaria in Italia suddiviso per fonte energetica
5_ Confronto tra la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in Italia (tra il 1991 e il 2004) e l'obiettivo previsto per il 2010

Fabbisogno di energia primaria in Italia (Mtep)				Percentuali	
	2002	2003	2004	2004	Δ2004/03
Combustibili solidi	14,2	15,3	17,1	8,7%	11,5%
Gas naturale	58,1	64,1	66,5	33,8%	3,8%
Prodotti derivati del petrolio	92	90,8	88	44,7%	-3,1%
Fonti rinnovabili	12,6	13	15,2	7,7%	17,5%
Importazioni nette energia elettrica	11,1	11,2	10	5,1%	-10,5%
Totale	188,1	194,4	196,8	100%	1,2%

4

rinnovabili.
Nel 2004 le fonti rinnovabili hanno coperto il 7,7% del fabbisogno di energia primaria[3], con un aumento percentuale del 17,5%, tuttavia pare che un simile andamento non sia sufficiente a raggiungere gli obiettivi che la direttiva 77/2001/CE impone per il 2010 al fine di rispettare il protocollo di Kyoto. Infatti, secondo questa norma Europea, ogni nazione deve coprire una determina percentuale del proprio consumo lordo di energia elettrica con fonti rinnovabili; in particolare l'Italia deve raggiungere il 25%, ma nel 2004 si è raggiunto solo il 16% che,

5

come si può vedere dal grafico, corrisponde a circa 55 GWh, mentre l'obiettivo è di circa 80 GWh.

L'uso delle fonti energetiche rinnovabili è assolutamente necessario ma non sufficiente al rispetto degli impegni presi se non è associato al risparmio energetico. Considerato che i consumi in edilizia (residenziale e terziario) sono arrivati, nella Comunità Europea, al 40% di tutta l'energia primaria e in Italia al 30% è evidente che a questi criteri debbano ispirarsi anche le iniziative in questo settore energetico.

Negli anni i consumi energetici in edilizia sono aumentati sia in numero sia in percentuale, in quanto la progettazione mira a raggiungere livelli di qualità ambientale sempre più sofisticati, dipendenti sia dalle richieste dell'utenza, sia dalle norme igienico sanitarie che fissano requisiti minimi sempre più impegnativi.

D'altra parte lo sviluppo della tecnologia ha reso possibile soddisfare le esigenze degli utenti con apparente facilità, permettendo di migliorare le prestazioni degli edifici, di elaborare forme un tempo impensabili e linguaggi indifferentemente applicabili in tutto il mondo. Così i procedimenti costruttivi sono stati esportati in zone climatiche differenti da quelle per cui erano stati studiati, come se i dispositivi impiantistici potessero sopperire all'assenza di una progettazione legata alle condizioni specifiche del sito. Il risultato è stato un ulteriore aumento dei consumi che, con uno studio attento dell'edificio, potrebbe essere evitato.

La progettazione urbanistica ed architettonica che si preoccupi anche del risparmio energetico è più complessa. Infatti, prevede l'uso di impianti innovativi efficienti e se possibile alimentati da fonti rinnovabili, l'investimento in migliori

6_ Consumi finali di energia, per settore energetico, in Italia

Consumi finali di energia per settore in Italia. Anni 1990-2004												
	1990		1995		2000		2002		2003		2004	
	ktep	%	ktep	%	ktep	%	ktep	%	ktep	%	ktep	%
Agricoltura e Pesca	3.112	2,5	3.294	2,5	3.226	2,3	3.297	2,4	3.361	2,3	3.283	2,3
Industria	36.454	29,6	36.826	28,3	40.177	29,2	39.554	29	40.827	28,4	41.390	29
Trasporti	34.453	28	38.776	29,8	41.862	30,5	43.121	31	44.081	30,6	44.417	31
Terziario e Residenziale	34.593	28,1	36.325	27,9	39.338	28,6	39.913	29	43.108	30	43.254	30
Usi non energetici	11.972	9,7	12.316	9,5	10.126	7,4	9.502	6,9	9.307	6,5	7.610	5,3
Bunkeraggi	2.607	2,1	2.440	1,9	2.739	2	3.021	2,2	3.246	2,3	3.400	2,4
Totale Impieghi finali	123.191	100	129.977	100	137.467	100	138.408	100	143.930	100	143.354	100

6

prestazioni degli elementi di fabbrica, la rinuncia all'utilizzo di tutto il volume edilizio disponibile per avere una migliore esposizione. Oltretutto l'efficienza energetica deve anche essere affiancata da una scelta intelligente degli isolanti e del loro spessore in modo da evitare che i materiali usati non siano causa di emissioni maggiori di quelle evitate col risparmio per la climatizzazione.

E' importante che non si ripeta l'errore di importare strategie di intervento e pratiche costruttive elaborate in climi più freddi solo perché, in quel contesto, hanno dato risultati soddisfacenti. Il risparmio energetico applicato ad un clima mite si deve indubbiamente basare sull'insegnamento dei pionieri della materia, ma deve poi essere rielaborato in funzione delle diverse esigenze.

1. LA NORMATIVA E I DIFFERENTI APPROCCI ALL'EDILIZIA EFFICIENTE E SOSTENIBILE

Progettare un edificio efficiente che permetta di risparmiare energia per la climatizzazione è quindi abbastanza complesso perché occorre richiamare problematiche differenti, che, partendo dalla riduzione dei consumi, arrivano alla scelta di fonti energetiche e materiali da costruzione poco inquinanti. Esistono quindi tutta una serie possibili modi per affrontare la questione che privilegiano un aspetto piuttosto che un altro.

Il primo riferimento è la normativa che impone e incentiva le pratiche del risparmio energetico e dell'uso delle fonti energetiche rinnovabili, ma, oltre a questo, esistono diversi modelli di valutazione e certificazione degli edifici che si sono sviluppati ad opera di amministrazioni locali e centri di ricerca. Infine esiste la normativa riguardante la certificazione dei prodotti che, pur non essendo stata elaborata unicamente per l'edilizia, riguarda anche i materiali da costruzione.

L' argomento può essere quindi affrontato in vari modi e può succedere che si faccia l'errore di concentrarsi solo su alcuni aspetti e se ne tralascino altri ugualmente importanti. Senza pretendere di esaurire tutta la letteratura sulla materia, è opportuno ricordare sia le proposte e i vincoli normativi, sia alcuni tra i metodi di analisi esistenti.

1.1. LA NORMATIVA

In Italia è attualmente in vigore la legge 10 del 1991, redatta in attuazione del Piano energetico nazionale (PEN) del 1988. Quindici anni fa questa legge era all'avanguardia, perchè introduceva il criterio di fabbisogno energetico del sistema complesso costituito dall'edificio e dall'impianto termico, sostituendo quello di limitare semplicemente la dispersione termica globale attraverso l'involucro, previsto dalla L. 373/76. Inoltre prevedeva l'uso delle fonti energetiche rinnovabili in edilizia incentivandolo con contributi, obbligava a presentare al comune una relazione tecnica attestante la rispondenza alle prescrizioni sul risparmio energetico, e soprattutto rendeva necessario che l'atto di compravendita o locazione di un immobile fosse accompagnato da una certificazione energetica, divenuta obbligatoria in tutta Europa solo a partire dal 2006.

La disciplina introdotta con la legge 10 doveva essere regolata, però, con numerosi decreti attuativi. Ancora oggi il decreto riguardante la certificazione energetica[4] non è stato emanato e, infatti, gli unici casi di applicazione sono quelli

avviati da certificatori autonomi, come la Provincia di Bolzano e il Comune di Carugate. Inoltre i controlli sulla relazione tecnica, che sarebbero stati affidati ai comuni, sono spesso disattesi. Il ritardo generale dell'Italia in materia di risparmio energetico non è quindi imputabile alla legge, ancora attuale se confrontata con le direttive Europee, ma al fatto che questa non sia stata attuata in tutte le sue parti.

1.1.1. La direttiva europea

A livello Europeo, per quanto riguarda il risparmio energetico, era stata emanata, il 13/09/1993, la direttiva 93/76/CE (Direttiva SAVE[5]), che era intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica, imponendo agli stati membri di elaborare, attuare e comunicare i programmi per il rendimento energetico nel settore dell'edilizia. Come strumento complementare a questa è stata poi elaborata la successiva direttiva 2002/91/CE che prevede:

- la certificazione energetica degli edifici;
- l'applicazione a livello nazionale e regionale di una metodologia di calcolo del rendimento energetico degli edifici;
- la definizione di requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici esistenti, con superficie maggiore di 1000 m^2, sottoposti a ristrutturazione;
- l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento.

Una delle novità interessanti della Direttiva è l'applicazione della legislazione energetica anche a parte del patrimonio esistente in quanto, ormai, il mercato edilizio è rivolto al recupero e al riutilizzo. La preferenza rispetto alla nuova edificazione ha due motivi: al tentativo di ridurre i costi di costruzione e di evitare gli oneri di urbanizzazione, si affianca l'interesse per i beni di interesse storico, artistico e tradizionale. Il risultato è che esiste un immenso patrimonio edilizio costituito da edifici antichi o semplicemente antecedenti alle norme di contenimento energetico (ad esempio in Italia circa i 2/3 degli edifici risale al periodo precedente all'entrata in vigore della 373/76) di pregio architettonico o anche di qualità scadente, con o senza valore storico, che, per i più svariati motivi, quasi certamente non saranno sostituiti da edifici a basso consumo.

La limitazione del campo di applicazione dei criteri del risparmio energetico è forse dovuta al fatto che i benefici di un intervento su costruzioni di dimensioni ridotte non sarebbero apprezzabili per i proprietari. Spesso, infatti, la situazione da un punto di vista energetico è talmente compromessa che si dovrebbero affrontare spese veramente rilevanti per ottenere risultati limitati.

Tuttavia, bisogna notare che, poiché solo il 28% degli edifici europei ha caratteristiche tali da obbligarne l'adeguamento, la limitazione del campo di applicazione delle disposizioni sul risparmio energetico riduce notevolmente il potenziale

della normativa.
I paesi membri avevano il 4 Gennaio del 2006 come termine ultimo per recepire tale direttiva ed emanare i regolamenti per la sua attuazione.
Però, perché uno strumento come la certificazione sia usata in modo efficace all'interno di tutta la CEE, non è sufficiente l'elaborazione delle normative nazionali ma è necessario che ci sia un coordinamento europeo, con l'elaborazione di norme tecniche unificate per la determinazione del fabbisogno energetico degli edifici. Di questo si stanno occupando il CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) il CENELEC (Comitato Europeo di Normazione elettrotecnica ed elettronica) e l'ETSI (European Telecomunication Standardization Institute) e le norme EN armonizzate dovrebbero essere pubblicate entro il 2007.

1.1.2. I nuovi decreti nazionali e regionali

In Italia in attuazione della direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sul rendimento energetico nell'edilizia è stato emanato il "Decreto legislativo del 19 Agosto 2005, n°192", preceduto dall'elaborazione di uno "Schema di decreto" trasmesso alla Presidenza del Senato il 27 Maggio 2005 e approvato dalla X Commissione Attività produttive il 27 Luglio 2005.

1.1.2.1. Il Decreto Ministeriale 27/07/2005

Il fatto singolare è che proprio il 27 Luglio 2005 è stato emanato, dopo quindici anni di silenzio, il decreto ministeriale per l'attuazione dell'articolo 4, comma 1 e 2, della legge 10, consistente nella definizione dei criteri generali tecnico-costruttivi per l'edilizia, cioè degli stessi argomenti del decreto legislativo 192/05.
Il D.M. 27/07/2005 su alcuni aspetti segue le linee guida della direttiva europea e infatti si occupa sia di edifici nuovi sia di quelli ristrutturati e non solo per il riscaldamento, ma anche per il raffrescamento. Introduce i concetti di inerzia termica e schermature solari e, a differenza del Dlgs 192, prescrive ai Comuni l'inserimento nei regolamenti edilizi delle norme sul risparmio energetico. Prevede inoltre che, nei computi per la determinazione dei volumi e dei rapporti di copertura, non siano considerati gli spessori per la parte eccedente i centimetri 30[6], in quanto il maggiore spessore contribuisce al miglioramento dei livelli di coibentazione termica, acustica e di inerzia termica.
Invece, per quanto riguarda il calcolo delle dispersioni non porta alcun miglioramento; infatti, riduce di circa il 10% il limite delle dispersioni globali per trasmissione, ma, per tener conto dell'inerzia termica delle murature, applica un coefficiente correttivo che in sostanza riporta i valori alla situazione precedente.
Inoltre, nella definizione delle trasmittanze dell'involucro è incompleto e sbrigativo: i valori limite attribuiti a ciascun elemento di fabbrica sono gli stessi per tutte le zone climatiche e, addirittura, le chiusure verticali esterne non sono soggette

a nessuna regola.

Il vero limite del D.M. 27/07/2005 è però che, essendo stato emanato prima del decreto legislativo 192/05, non recepisce le nuove modifiche che sono state apportate alla legge 10, per esempio parla ancora del coefficiente globale di trasmissione che ormai è stato abrogato. Inoltre sono stati abrogati i comma 1 e 2, dell'articolo 4, della legge 10, in attuazione dei quali il D.M. 27/07/2005 era stato emanato.

Quindi, a partire dall'8 ottobre 2005, data di entrata in vigore del Dlgs 192, il D.M. 27/07/2005 è stato abrogato. Ci si chiede allora se non sarebbe stato meglio evitare questa sovrapposizione, che, nell'autunno del 2005, ha causato molta confusione tra gli operatori del settore. Bisogna osservare inoltre che il 22 Dicembre 2006 è stato approvato in via definitiva dal Consiglio dei Ministri lo Schema di decreto legislativo recante "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia". La tesi si riferisce a questo documento ma in realtà nella stesura definitiva del decreto riguardante le disposizioni correttive, il Dlgs n°311dell 29 Dicembre 2006, reso pubblico solo il primo febbraio 2007, sono state apportate ulteriori modifiche.

1.1.2.2. Il Decreto legislativo del 19 Agosto 2005, n°192

L'obbiettivo del Decreto legislativo del 19 Agosto 2005, n°192 è quello di riordinare la materia del risparmio energetico integrando e modificando la legge 10 e il DPR 412/93 nei punti in cui questi non sono in linea con la direttiva europea. Infatti, è prevista tutta una serie di decreti attuativi che ridefinisca i metodi di calcolo, i requisiti di prestazione degli edifici, la certificazione energetica, i modelli di relazione tecnica e l'esercizio e la manutenzione degli impianti.

In particolare, nell'Allegato B, si prevede che il metodo di calcolo del rendimento energetico, dovrà considerare le caratteristiche termiche dell'edificio, il tipo di impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda, il sistema di condizionamento, la ventilazione meccanica e naturale, l'impianto di illuminazione, la posizione e l'orientamento degli edifici, il clima esterno, i sistemi solari passivi e di protezione solare e il microclima interno. Inoltre dovrà essere possibile apprezzare i vantaggi derivanti dall'uso delle fonti energetiche rinnovabili, dei sistemi di cogenerazione e del riscaldamento e condizionamento a distanza.

L'obbiettivo è quello di elaborare un metodo di calcolo veramente completo in grado di superare le carenze del calcolo basato sulla verifica del FEN[7], indicatore globale che, secondo la Legge 10, rappresenta il fabbisogno energetico invernale dell'intero sistema edificio-impianto e deve essere inferiore ad un valore stabilito nel DPR 412/93 (decreto attuativo della legge 10). Dalla definizione di FEN emerge subito quale sia una delle sue fondamentali carenze; infatti, sebbe-

ne il raffrescamento estivo sia nei paesi mediterranei causa dei maggiori consumi di energia, tuttavia nel calcolo è considerato solo il riscaldamento invernale e, addirittura, nei modelli per la compilazione della relazione tecnica, ai sensi della legge 10, è specificato, in più note, che il fabbisogno per il raffrescamento deve essere tralasciato. Inoltre, negli anni di applicazione della legge 10, è emerso che il FEN, proprio perché concepito come un indicatore che non si limiti semplicemente alla trasmissione del calore, è troppo generico: varia in base alle dispersioni globali per trasmissione, al rendimento del generatore di calore, al recupero termico, all'orientamento dell'edificio, e queste caratteristiche variano a loro volta in funzione di altre. Il DPR 412/93 prevede soltanto la verifica delle prime due, le dispersioni globali per trasmissione e il rendimento globale del generatore di calore, senza considerare, ad esempio, la trasmittanza dei vari elementi costruttivi dell'involucro. Invece sarebbe meglio che si verificassero sia un indicatore globale, sia più indicatori parziali ritenuti fondamentali per il buon funzionamento energetico dell'edificio e per il benessere degli abitanti.
Nel decreto legislativo 192/05, in attesa dei decreti attuativi, si hanno, per ora, solo norme transitorie, molto semplificate rispetto ai propositi iniziali, in modo che il passaggio alle nuove regole avvenga senza eccessive complicazioni. Quindi per ora non si parla ancora di due punti fondamentali del rinnovo della normativa:

1. i consumi dovuti al raffrescamento, causa dei blackout estivi;
2. la certificazione energetica da applicarsi in caso di compravendita o locazione, provvedimento che garantirebbe il rispetto delle leggi sul risparmio energetico[8].

L'attestato di certificazione energetica, in attesa delle linee guida nazionali, è stato provvisoriamente sostituito dall'attestato di qualificazione energetica, obbligatorio a partire dal 8 ottobre 2006, che deve riportare il fabbisogno di energia primaria e la classe di appartenenza dell'edificio.
Non appena entrata in vigore la certificazione energetica dovrà essere applicata solamente agli edifici di nuova costruzione e a quelli con superficie maggiore di 1000 m^2 sottoposti a completa ristrutturazione dell'involucro, poi sarà gradatamente estesa fino a interessare qualunque unità immobiliare a partire dal 1° Luglio 2009.
Indipendentemente dai decreti attuativi, il Dlgs 192/05 introduce alcune interessanti novità. Per quanto riguarda le superfici finestrate, queste sono in primo luogo ridotte ad una percentuale massima del 20% negli edifici residenziali, mentre la percentuale sale al 50% negli altri tipi di edifici. In secondo luogo diventa obbligatorio schermare tutte le superfici vetrate di qualunque tipo di edificio, con la precisazione che per gli edifici di superficie superiore ai 1000 m^2

sono obbligatorie le schermature esterne.

Inoltre le pareti opache sottoposte a un irraggiamento solare medio mensile superiore ai 290 W/m^2 devono avere una massa superficiale di almeno 230 Kg/m^2, in modo da garantire una inerzia termica sufficiente a contrastare gli effetti dell'eccessivo soleggiamento.

Si deve anche provvedere all'installazione di impianti fotovoltaici[9], di impianti solare termico, che coprano almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria, e alla predisposizione per il collegamento alla rete di teleriscaldamento, nel caso ve ne sia una a una distanza inferiore di 1000 m.

Si prevede, inoltre, la semplice correzione del metodo di calcolo in vigore[10]; infatti, non è cambiata l'organizzazione complessiva dello schema di relazione tecnica, ma sono introdotte modifiche puntuali. La più importante è la sostituzione della verifica del FEN con la verifica del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, inteso come l'energia primaria globale richiesta nel corso di un anno per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto.

L'energia primaria[11] consumata è calcolata in base al flusso di calore attraverso l'involucro e all'efficienza globale dell'impianto di riscaldamento, quindi, se, a parità di dispersioni, si passa dal C.O.P. pari a 3 di una pompa di calore all'efficienza del 85%/90% di una caldaia, si hanno variazioni non trascurabili.

E' inoltre in fase di elaborazione il progetto di norma europeo prEN 15315, nel quale è previsto un calcolo più accurato del fabbisogno di energia primaria che comprenda non solo l'efficienza dell'impianto, ma anche della fonte energetica utilizzata secondo la formula:

$EP=\Sigma Q \bullet f_{EP}$

dove:

- Q è il fabbisogno energetico comprensivo dell'efficienza dell'impianto;
- f_{EP} è il fattore di energia primaria.

Nella tabella (7) sono riportati i f_{EP} che, secondo il prEN 15315, si possono utilizzare in mancanza di valori più accurati, ma è prevista la redazione di allegati

Fattori di energia primaria per le diverse fonti energetiche	
Vettore energetico	Fattore di energia primaria f_{EP}
Carbone	1,20
Petrolio	1,10
Gas naturale	1,10
Biomasse	1,10
Rifiuti solidi urbani	1,00
Fonti Rinnovabili	1,00
Mix elettrico nazionale	2,37

7

7_ Fattori di energia primaria per le diverse fonti energetiche in Italia

8_ Valori limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale in Italia dal 1° gennaio 2006 al 31 dicembre 2007

9_ Valori limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale in Italia dal 1° gennaio 2008 al 31 dicembre 2010

10_ Valori limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale in Italia dal 1° gennaio 2010

nei quali siano riportati valori dei fattori di energia primaria specifici per ciascuna nazione.

L'applicazione di questo nuovo metodo di calcolo renderà, di fatto, ancora più difficile collegare in modo immediato l'efficienza dell'involucro al fabbisogno di energia primaria.

Attualmente, in attesa della definizione della normativa, l'energia primaria si calcola in base all'efficienza dell'impianto e la verifica dell'efficienza di un edificio si basa su tre indicatori:

1. il fabbisogno di energia primaria[12];
2. la trasmittanza degli elementi di fabbrica;
3. il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico[13].

Il riferimento per queste verifiche è l'allegato C, in particolare, per quanto riguarda il fabbisogno energetico e la trasmittanza, sono state elaborate una serie di tabelle in cui sono riportati i valori massimi in vigore dal 1° gennaio 2006 a tutto

Valori limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale - 1° genn. 2006 (kWh/m²a)										
Rapporto di forma dell'edificioS/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	da 601 GG	a 900 GG	da 901 GG	a 1400 GG	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
0,2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

8

Valori limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale - 1° genn. 2008 (kWh/m²a)										
Rapporto di forma dell'edificioS/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	da 601 GG	a 900 GG	da 901 GG	a 1400 GG	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
0,2	9,5	9,5	14	14	23	23	37	37	52	52
0,9	41	41	55	55	78	78	100	100	133	133

9

Valori limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale - 1° genn. 2010 (kWh/m²a)										
Rapporto di forma dell'edificioS/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	da 601 GG	a 900 GG	da 901 GG	a 1400 GG	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

10

il 2007, dal 1° gennaio 2008 a tutto il 2009 e dal 1° gennaio 2010 in poi.

Come nel DPR 412/93 l'Italia è suddivisa in sei zone climatiche a seconda dei gradi giorno e il fabbisogno energetico massimo si determina per interpolazione lineare in base ai gradi giorno e al fattore di forma[14], in modo da essere effettivamente rispondente alle effettive caratteristiche dell'edificio.

Le trasmittanze sono invece fissate in modo molto rigido, infatti, per gli elementi dell'involucro variano solo in base alla zona climatica e addirittura, per i divisori verticali tra appartamenti contigui, è previsto, nelle zone C, D, E e F, il rispetto di un unico valore massimo pari a 0,8 W/m^{2}K.

L'isolamento delle chiusure verticali tra appartamenti contigui è necessario per evitare i "furti di calore", ma non è una soluzione soddisfacente in quanto sono state trascurate le chiusure orizzontali intermedie che invece sono causa dei

Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2008 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2010 U (W/m^{2}K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

11

Trasmittanza termica delle chiusure orizzontali di copertura opache			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2008 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2010 U (W/m^{2}K)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

12

Trasmittanza termica delle chiusure orizzontali di base opache			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2008 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2010 U (W/m^{2}K)
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

13

11_ *Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache, evoluzione dei valori limite dal 2006 al 2010*
12_ *Trasmittanza termica delle chiusure orizzontali di copertura opache, evoluzione dei valori limite dal 2006 al 2010*
13_ *Trasmittanza termica delle chiusure orizzontali di base opache, evoluzione dei valori limite dal 2006 al 2010*
14_ *Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi, evoluzione dei valori limite dal 2006 al 2010*

Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006 U (W/m²K)	Dal 1 gennaio 2008 U (W/m²K)	Dal 1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,5	2,2
F	2,4	2,2	2,1

14

maggiori scambi di calore tra appartamenti.

Il rispetto dei requisiti di prestazione suddetti non è limitato unicamente agli edifici nuovi o a quelli ristrutturati con superficie maggiore di 1000 m^2. Infatti, il decreto legislativo 192/05 (che non riguarda gli edifici vincolati) recepisce la direttiva europea in modo articolato, distinguendo tra un'applicazione integrale e una parziale della normativa sul risparmio energetico. La prima si avrà per gli edifici nuovi[15], per quelli sottoposti ad un ampliamento maggiore al 20% dell'edificio esistente (e si applica solo sull'ampliamento) e per quelli, con superficie maggiore di 1000 m^2, sottoposti a ristrutturazione o manutenzione straordinaria dell'involucro. La seconda per gli edifici sottoposti a ristrutturazione o manutenzione straordinaria dell'involucro, integrale o parziale, con superficie inferiore ai 1000 m^2, e per quelli in cui è stato sostituito l'impianto termico o il generatore di calore.

Nell'allegato I è spiegato in modo dettagliato cosa distingue i due livelli di applicazione.

Se si tratta di un'applicazione integrale è possibile seguire due strade:

1. nel primo caso bisogna rispettare il fabbisogno energetico massimo, installare un impianto con un rendimento globale medio stagionale inferiore del 10% rispetto a quello prescritto dall'allegato C e non superare di più del 30% il valore massimo consentito per la trasmittanza degli elementi dell'involucro;
2. nel secondo caso si può omettere la verifica del fabbisogno di energia garantendo il rispetto delle trasmittanze massime degli elementi di fabbrica, tutta una serie di prestazioni impiantistiche[16] e una percentuale di pareti finestrate non superiore al 15%.

Questi due metodi di verifica sono stati modificati con la nuova versione del Dlgs 192. In particolare, poiché, come si vedrà negli esempi, con l'utilizzo di un impianto efficiente si potrebbe addirittura giungere all'assurdo di ottenere un fabbisogno di energia primaria inferiore al limite massimo senza isolare nessun elemento dell'involucro, è stato introdotto il vincolo che la trasmittanza degli

elementi dell'involucro non superi mai del 30% il valore limite anche nel caso del calcolo del fabbisogno globale.
Per quanto riguarda l'applicazione parziale, bisogna distinguere in primo luogo se si tratta della sostituzione dell'impianto o di un intervento sugli elementi dell'involucro:

1. nel primo caso sarà sufficiente verificare il rendimento globale medio stagionale dell'impianto;
2. nel secondo caso si devono unicamente rispettare le trasmittanze massime per gli elementi di fabbrica su cui si deve intervenire.

L'obiettivo è quello di proporzionare al tipo di intervento il livello di adeguamento dell'edificio esistente alla normativa: quanto più questo sarà invasivo, tanto più saranno restrittive le normative energetiche. In questo modo si potrebbero effettivamente migliorare anche le prestazioni delle piccole costruzioni esistenti contribuendo alla riduzione dei consumi energetici con costi accettabili.
Tuttavia proprio il metodo di applicazione potrebbe non dare i buoni risultati sperati, sia per quanto riguarda il calcolo negli edifici nuovi, che per quanto riguarda l'adeguamento dell'involucro di quelli ristrutturati.
Infatti, in caso di edifici nuovi, per rendere più semplice la progettazione molti progettisti potrebbero scegliere di non calcolare il fabbisogno energetico dell'edificio, ma semplicemente di rispettare le prestazioni richieste per elementi di fabbrica e impianto termico.
Come si è già visto, però, mentre il fabbisogno energetico massimo è regolato da più fattori, le trasmittanze sono fissate, in modo troppo generico, solo in base alla zona climatica. Conseguentemente, come si potrà vedere dagli esempi riportati in seguito, rispettando le trasmittanze si avrà un fabbisogno energetico molto più basso di quello massimo consentito. Apparentemente si potrebbe dire che l'edificio, essendo isolato maggiormente rispetto al minimo richiesto, e quindi avendo consumi ridotti, magari in buona parte soddisfatti dall'uso delle fonti energetiche rinnovabili, avrebbe sicuramente una gestione economicamente meno dispendiosa.
In realtà in primo luogo il collegamento tra trasmittanza e fabbisogno di energia primaria non è univoco, ma è influenzato anche dall'efficienza dell'impianto di riscaldamento, quindi in base al tipo di impianto utilizzato, il fabbisogno di energia primaria potrebbe cambiare notevolmente a prescindere dallo spessore di isolante.
In secondo luogo, l'aumento dello spessore di isolante potrebbe causare una maggiorazione delle spese in fase di costruzione ammortizzabile in un numero eccessivo di anni.
Inoltre, per quanto riguarda la questione ambientale, non bisogna sottovalutare

lo studio del rapporto tra i costi energetici della produzione di un materiale per l'edilizia e il risparmio energetico che questo può garantire, quindi potrebbe anche succedere che per ottenere una maggiore efficienza in fase di gestione si avrebbe un eccessivo aumento di emissioni in fase di produzione.
Lo stesso discorso vale per quanto riguarda gli interventi di ristrutturazione, nei quali bisogna anche considerare che i valori di trasmittanza richiesti per gli elementi di fabbrica potrebbero essere veramente difficili da raggiungere rispettando il tipo edilizio, scoraggiando quindi, invece di incentivare, questo tipo di interventi.
In realtà, affrontare un progetto ponendosi l'obbiettivo di ottenere un edificio sostenibile vuol dire considerare differenti aspetti:

- il consumo di energia in fase di gestione, intesa come l'energia necessaria a mantenere un certo livello di qualità ambientale;
- il consumo di energia e l'emissione di sostanze nocive in fase di produzione;
- i rifiuti residui che non possono essere riciclati al momento della dismissione del manufatto edilizio.

Il decreto effettivamente si occupa di rendere più efficiente la gestione dei fabbricati, ma non si interessa dei consumi energetici e delle emissioni nocive legati alle fasi di produzione e dismissione.
Il legislatore ha deciso di puntare alla "gestione intelligente" prima che agli altri aspetti perchè attualmente in questo campo ci sono ampi margini di miglioramento: i consumi per il riscaldamento invernale di un edificio italiano superano i 100 kWh/m^2 annui, mentre si sa che le tecnologie attuali permetterebbero di arrivare a 15 kWh/m^2 annui! Inoltre, partendo dal presupposto che il manufatto edilizio ha una vita molto lunga, si può supporre che i costi ambientali ed economici di produzione siano ammortizzati negli anni.
In particolare, per quanto riguarda l'aspetto ecologico, si può citare lo studio elaborato dal CIBSE[17], centro di ricerca del Regno Unito di Gran Bretagna, nel 1991 per valutare il rapporto percentuale tra i costi energetici di costruzione e quelli di esercizio. Stimando i costi di costruzione pari a 6 GJ/m^2 e i costi di esercizio pari a 1 GJ/m^2 annuo e supponendo che un edificio abbia una vita di cinquanta anni, si è dedotto che il rapporto è pari al 12%. Infatti:
(6 GJ/m^2)/(1 GJ/m^2 annuo X 50 anni)=0,12
I costi di gestione sono quindi nettamente superiori a quelli di costruzione, tuttavia bisogna considerare il fatto che queste valutazioni sono state fatte in Inghilterra che ha un clima molto più rigido del nostro; infatti, Londra ha 4000 gradi giorno, mentre Cagliari ne ha 990 e conseguentemente si potrebbe obiettare che alle nostre latitudini i costi di gestione sono percentualmente inferiori. Tut-

tavia non bisogna dimenticare che anche i costi di costruzione diminuiscono a causa del clima mite perché le prestazioni richieste sono meno impegnative: ad esempio lo spessore di isolante necessario per ottenere lo stesso fabbisogno energetico è inferiore.

Per confermare la validità di queste stime si può fare un confronto con quelle riportate nel “Libro Bianco, energia - ambiente – edificio”[18]. In questo caso si ipotizza che per costruire un edificio 90 - 100 m^2 si utilizzino circa 100 tonnellate di materiale che ha un costo energetico di produzione che oscilla 500 e 700 kcal/kg per un totale consumo energetico, comprendente anche le lavorazioni in cantiere, di 5 o 6 Mtep ovvero 5 o 6 tonnellate di petrolio[19]. Considerato che, facendo una media nazionale, un’abitazione di queste dimensioni consuma una tonnellata di petrolio all’anno per il solo riscaldamento, i costi di costruzione si ammortizzano in circa cinque o sei anni. Se ora confrontiamo questi risultati con quelli ottenuti dal CIBSE si può notare che i costi di costruzione oscillerebbero intorno ai 600 GJ (14,3 Mtep) e i costi di gestione intorno ai 100 GJ (2,4 Mtep) all’anno. Quindi risulta che, come ipotizzato, in entrambe le fasi di vita dell’edificio, in Inghilterra i consumi sono più che doppi rispetto all’Italia, ma il tempo di ammortamento è lo stesso:

14,3 Mtep /2,4 Mtep annui = 5,9 anni!

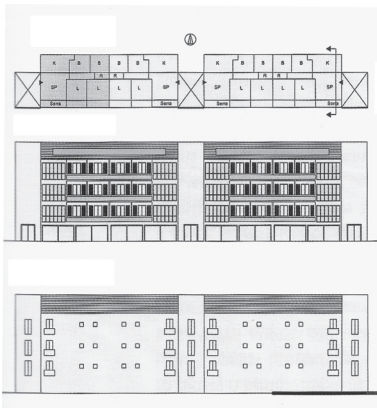
I risultati ottenuti hanno indubbiamente un valore solo indicativo e hanno l’unica utilità di confermare che, paragonata alla vita di un edificio, la fase di costruzione è trascurabile. Tuttavia, qualunque sia il rapporto percentuale ottenuto, una volta che si garantisce l’efficienza che ormai è richiesta dalla normativa, è comunque doveroso cercare di ridurre le cause di inquinamento anche con una scelta accurata di soluzioni tecniche che utilizzino materiali dal minor impatto ambientale possibile.

Non bisogna dimenticare inoltre che l’Italia si differenzia all’interno del suo territorio sia per il clima, si passa da meno di 600 a più di 3000 gradi giorno, sia per tecniche costruttive, reperibilità dei materiali, capacità tecniche delle imprese, possibilità economiche degli utenti…

Da questo punto di vista è interessante che il Dlgs 192 preveda il trasferimento del potere legislativo alle autorità locali per un verso complicando l’iter normativo, dall’altro procurando il vantaggio di norme adeguate alle condizioni locali.

Infatti, in seguito alla Legge Bassanini (Decreto Legislativo del 31 Marzo 1998, n°112) e alla Legge Costituzionale del 18 Ottobre 2001, n°3, la legislazione e le funzioni amministrative in tema di energia sono state affidate alle regioni. Quindi i decreti del Presidente della Repubblica[20] previsti nel decreto legislativo 192/05 avranno valore transitorio e saranno abrogati nel momento in cui le singole regioni e le province autonome recepiranno la direttiva 2002/91/CE, ovviamente

15_ Percentuale del fabbisogno annuo di energia coperta da collettori solari e celle fotovoltaiche nelle tre città

16_ Pianta primo piano, prospetto anteriore e prospetto posteriore del tipo edilizio in linea

16

nel rispetto delle linee guida nazionali.
Sarebbe quindi preferibile promuovere il più possibile un metodo di calcolo che, nella scelta di tecniche costruttive e materiali, garantisca un giusto equilibrio tra i vari fattori considerati.
Alla luce di queste considerazioni è possibile che l'applicazione delle pratica corrente migliore (Best Practise) non sia sempre la soluzione adatta per i paesi dal clima mite. Quindi prestazioni troppo impegnative, per esempio quelle richieste dal Passivhaus Institut tedesco, potrebbero essere eccessivamente costose, sia da un punto di vista economico che ambientale, senza migliorare significativamente il benessere negli edifici. Invece, affinché sia effettivamente possibile la diffusione del risparmio energetico in edilizia, è necessario che gli utenti possano percepirne subito la convenienza e, nel caso in cui i costi siano ancora eccessivi, possano usufruire di incentivi economici.

1.2. LA PROMOZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO

Un recente studio[21], sviluppato nell'Università degli studi di Firenze, ha affrontato la valutazione della fattibilità tecnico-economica dell'impiego dell'energia solare in ambito residenziale, riferita ai consumi della famiglia tipica Italiana, cioè quattro persone. Si è scelto di studiare il tipo edilizio in linea, perché ritenuto più adatto all'integrazione dei sistemi solari e facilmente orientabile in modo adeguato, e di localizzare gli edifici a Milano (2404 GG), Firenze (1821 GG) e Palermo (751 GG) per avere un'analisi significativa a livello nazionale. Sono stati considerati sia sistemi solari attivi, collettori solari e celle fotovoltaiche, sia sistemi solari passivi, muro di Trombe e serre solari, questi ultimi due non a Palermo per evitare il surriscaldamento.
La ricerca è stata condotta considerando il costo dell'installazione, il risparmio annuo, e quindi il tempo di ammortamento, e la vita media dell'impianto. I sistemi passivi sono risultati di facile installazione, non molto costosi, ma non in grado di sostituire gli impianti tradizionali. Invece, sia le celle fotovoltaiche per la produzione di energia elettrica, sia i collettori solari per la produzione di acqua calda, hanno dato ottimi risultati arrivando a coprire buona parte del fabbisogno annuo.
I collettori solari devono essere sostituiti mediamente ogni venti anni e, mone-

Percentuale di copertura del fabbisogno annuo		
	collettori solari	celle fotovoltaiche
Milano	65%	54%
Firenze	70%	94%
Palermo	85%	68%

15

tizzando il risparmio energetico, si calcola che le spese sono ammortizzabili nel caso più svantaggioso, a Milano e senza alcun incentivo, in undici anni e in quello più vantaggioso, a Palermo con incentivi, in poco più di quattro anni. Mentre questo sistema è risultato conveniente in ogni caso, purtroppo l'installazione di un impianto fotovoltaico è talmente onerosa che, se non si interviene con notevoli incentivi, i tempi di ammortamento (a Milano senza incentivi 42 anni!) diventano di gran lunga superiori alla durata media delle celle fotovoltaiche attualmente garantita, 25 anni.
Lo studio rende evidente che l'uso di fonti energetiche rinnovabili in edilizia è scoraggiato dagli alti costi degli impianti; si comprende perché già nella legge 10 è stata prevista una politica di incentivi, che ne aiuti la diffusione.

1.2.1. Gli incentivi

Per questo motivo nel 2000 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (MATT) ha avviato il programma "Tetti fotovoltaici" prevedendo la realizzazione tra il 2000 e il 2002 di impianti fotovoltaici, di potenza compresa tra 1 e 20 KWp[22], collegati alla rete elettrica di distribuzione, installati e integrati negli elementi costruttivi. Il programma si divideva in tre sottoprogrammi: il primo destinato a Comuni, Province e Università; il secondo, gestito dalle regioni, destinato a aziende, enti pubblici e privati; il terzo destinato sempre a enti pubblici, ma rivolto in modo specifico all'integrazione in edifici di pregio architettonico.
Il successo è stato tale che nel 2003 è stato emanato un decreto che permette il proseguimento del programma.
Inoltre il MATT, con il decreto del 24 luglio 2002, ha avviato il "Programma solaretermico – Bandi regionali" stanziando più di otto milioni di euro da ripartire tra le regioni aderenti, tra cui anche la Sardegna, per il finanziamento di impianti solare termico per la produzione di acqua calda.
E infine, ai sensi dei D.M. 24 Aprile 2001, che obbligavano i distributori di energia a ridurre i consumi delle utenze, è stato emanato un bando per promuovere l'installazione di impianti di gas-solare[23], finanziati fino al 30%.
Anche nella legge 9 del 1991 sono previsti incentivi, sotto forma di agevolazioni fiscali, per il risparmio energetico[24]. In attuazione di tale normativa è stato emanato il decreto ministeriale del 15 febbraio 1992 che elenca tutti i tipi di opere per cui sono ammesse le agevolazioni.
Attualmente le forme di incentivazione a livello nazionale come il programma tetti fotovoltaici non esistono più, solo alcune regioni[25] proseguono, saltuariamente in base alle disponibilità economiche, a finanziare gli impianti fotovoltaico, solare termico o anche il collegamento alla rete di teleriscaldamento.

1.2.1.1. Il Conto energia

A livello nazionale si è preferito passare ad un'altra forma di incentivi, simile a quella già sperimentata con successo in Germania, il "Conto energia[26]". Questo nuovo sistema non consiste in un finanziamento in conto capitale come il programma tetti fotovoltaici, che arrivava a finanziare l'installazione degli impianti fino al 75% del costo totale, ma è un incentivo alla produzione di energia con celle fotovoltaiche. Infatti, ogni produttore di energia, per i primi venti anni di funzionamento dell'impianto, avrà una remunerazione per ogni kWh prodotto unitamente ad altri incentivi che proseguiranno oltre i primi venti anni. Esattamente il meccanismo funziona in modo diverso in base alla potenza dell'impianto:

- per impianti di potenza nominale non superiore a 20 kW, per i quali la domanda è stata inoltrata nel 2005 e nel 2006, la tariffa incentivante è di 0,445 euro/kWh, mentre, per domande inoltrate negli anni successivi al 2006, il valore della tariffa incentivante sarà decurtato del 2%; a questo si deve sommare il risparmio dovuto all'uso dell'energia fotovoltaica e il meccanismo del net-metering che consiste nella cessione alla rete locale dell'energia prodotta in esubero che poi sarà scontata nelle bollette successive;
- per impianti di potenza nominale non superiore a 50 kW, per i quali la domanda è stata inoltrata nel 2005 e nel 2006, la tariffa incentivante è di 0,460 euro/kWh, mentre, per domande inoltrate negli anni successivi al 2006, il valore della tariffa incentivante sarà decurtato del 2%; a questo si deve sommare il risparmio dovuto all'uso dell'energia fotovoltaica e il ricavato della vendita dell'energia prodotta in esubero alla rete locale;
- per impianti di potenza nominale potenza nominale superiore a 50 kW ed inferiore a 1000 kW, per i quali la domanda è stata inoltrata nel 2005 e nel 2006, la tariffa incentivante è calcolata attraverso una gara che parte da un limite massimo di 0,490 euro/kWh, che sarà decurtato del 2% per domande inoltrate negli anni successivi al 2006; a questo si deve sommare il risparmio dovuto all'uso dell'energia fotovoltaica e il ricavato della vendita dell'energia prodotta in esubero alla rete locale.

Il conto energia non sempre è cumulabile con altri incentivi. Infatti, non si vi può aderire nel caso in cui l'impianto sia stato finanziato dal programma tetti fotovoltaici o se si utilizzano certificati verdi[27] o bianchi[28]. Invece è cumulabile a contributi in conto capitale inferiori al 20% dell'investimento e alla detrazione dell'Irpef del 36% (o 41%)[29] con una riduzione del 30% della remunerazione.

Un impianto da 2 kWp, ovvero 16 m^2 di celle fotovoltaiche, esposto in maniera corretta, produce 2200 kWh/anno nel Nord Italia, 2600 kWh/anno nel Centro e 2800 kWh/anno nel Sud. Considerato che si applica una tariffa incentivante

Calcolo ammortamento di un impianto fotovoltaico con potenza di 2 kWp						
senza detrazione Irpef al 36%	costo impianto	energia prodotta	ricavo Conto energia	risparmio net-metering	ricavo complessivo	ammortamento
ubicazione	(euro)	(kWh/anno)	(euro)	(euro)	(euro)	(anni)
Nord	15000	2200	979,00	396,00	1375,00	10,9
Centro	15000	2600	1157,00	468,00	1625,00	9,2
Sud	15000	2800	1246,00	504,00	1750,00	8,6
con detrazione Irpef al 36%	costo impianto	energia prodotta	ricavo Conto energia	risparmio net-metering	ricavo complessivo	ammortamento
ubicazione	(euro)	(kWh/anno)	(euro)	(euro)	(euro)	(anni)
Nord	9600	2200	685,30	396,00	1081,30	8,9
Centro	9600	2600	809,90	468,00	1277,90	7,5
Sud	9600	2800	872,20	504,00	1376,20	7,0

17

di 0,445 euro/kWh e l'energia elettrica ha un costo di circa 0,18 euro/kWh, un impianto nel Sud Italia garantisce, grazie al Conto energia, un ricavo di 1246 euro l'anno (2.800 kWh/anno x 0,445 euro/kWh), inoltre, grazie al net-metering un risparmio di 504 euro l'anno (2.800 kWh/anno x 0,18 euro/kWh). Poiché l'impianto ha un costo di circa 15000 euro, il tempo di ammortamento è di circa 8,5 anni nel Sud Italia, di quasi 11 anni nel Nord e di poco più di 9 anni nel Centro, senza considerare l'applicazione delle detrazioni Irpef che ridurrebbe di circa un anno e mezzo i tempi. Quindi, anche nel caso meno conveniente, l'impianto garantirebbe un ricavo costante per 9 anni da cui bisognerebbe detrarre solo le spese di manutenzione dato che i ricavi dagli impianti con potenza inferiore ai 20 kW non sono tassabili.

Il successo del conto energia è stato tale che il 31/07/2006 il Gestore del Sistema Elettrico – GRTN S.p.A.[30] ha comunicato che " essendo esaurita la potenza disponibile per l'incentivazione nel 2006, non potranno essere presentate per quest'anno ulteriori domande di ammissione all'incentivazione. A meno di modifiche normative, nuove domande potranno essere inoltrate nel mese di marzo 2007".

Infatti, secondo DM 06/02/2006 l'obiettivo nazionale di potenza nominale fotovoltaica cumulata da installare entro il 2015 è di 1000 MW, con incentivabili 500 MW[31]: 360 MW per gli impianti di potenza inferiore a 50 kW e 140 MW per impianti di potenza superiore a 50 kW. In realtà, come si può vedere dalla tabella (18) i 500 MW sarebbero stati ampiamente superati nel 2006 per cui è stato necessario respingere più di 11000 domande idonee in modo da poter lasciare una quota di incentivi anche per il 2007.

17_ Calcolo ammortamento di un impianto fotovoltaico con potenza di 2 kWp al Nord, al Centro e al Sud Italia
18_ Tabella riassuntiva impianti incentivati con il conto energia per il 1° trimestre 2006
19_ Potenza cumulativa impianti ammessi all'incentivazione (MW)

Tabella riassuntiva impianti incentivati con il conto energia per il 1° trimestre 2006				
numerosità				
classe di potenza	domande presentate	domande ammesse	domande idonee non ammesse	domande respinte
1 kW ≤P ≤20 kW	8.132	1.516	5.524	1.092
20 kW < P ≤50 kW	7.248	1.675	5.056	517
totale parziale 1 kW ≤P ≤50 kW	15.380	3.191	10.580	1.609
50 kW < P ≤1000 kW	1.467	36	1.271	160
totale	16.847	3.227	11.851	1.769
potenza (MW)				
classe di potenza	domande presentate	domande ammesse	domande idonee non ammesse	domande respinte
1 kW ≤P ≤20 kW	56,054	10,607	37,595	7,851
20 kW < P ≤50 kW	343,334	80,601	239,174	23,559
totale parziale 1 kW ≤P ≤50 kW	399,387	91,208	276,769	31,410
50 kW < P ≤1000 kW	907,795	28,320	806,471	73,005
totale	1.307,183	119,527	1.083,240	104,415

18

potenza cumulativa impianti ammessi all'incentivazione (MW)					limiti massimi potenza cumulativa di tutti gli impianti che possono ottenere l'incentivazione	potenza disponibile a partire dall'anno 2007
classe di potenza	3° trimestre 2005	4° trimestre 2005	1° trimestre 2006	totale		
1 ≤P ≤20 kW	14,0	26,7	10,6	51,4	360	71,4
20 < P ≤50 kW	46,6	110,0	80,6	237,2		
50 < P ≤1000 kW	27,0	43,7	28,3	99,1	140	40,9
TOTALE	87,7	180,5	119,5	387,7	500	112,3

19

1.2.2. La divulgazione

Non meno importante delle prescrizioni e degli incentivi è suscitare un interesse diffuso sui temi della sostenibilità.

Così nel 2001 il MATT, l'ENEA e il Ministero per i Beni e le Attività Culturali hanno elaborato il programma "Fotovoltaico ad alta valenza architettonica", in modo da stimolare la realizzazione di impianti veramente integrati. Dei cinquantasette

progetti partecipanti ne sono stati finanziati quattro.

Sempre nel 2002 il MIUR (Ministero dell'Istruzione Università e Ricerca), il MATT e l'ENEA hanno avviato il progetto "Il Sole e la Scuola" per la sensibilizzazione delle istituzioni scolastiche, dei docenti, degli studenti e delle famiglie alle tematiche ambientali e in particolare all'uso razionale dell'energia.

La consapevolezza dell'importanza di divulgare i risultati della ricerca in questo campo ha portato la Fassa Bortolo e la Facoltà di Architettura di Ferrara a indire nel 2003 la prima edizione del premio internazionale "Architettura Sostenibile". Ideato con l'obiettivo di offrire, un'occasione di incontro per i professionisti del settore e di far conoscere le loro opere ad un pubblico allargato, è ormai arrivato alla terza edizione e dalla prossima saranno ammesse anche le tesi di laurea. Dai risultati del concorso emerge un dato positivo e, infatti, mentre nella prima edizione dei quindici progetti partecipanti erano stati premiati solo i due stranieri, nella seconda e nella terza i vincitori sono stati Italiani. Questo potrebbe voler dire che la cultura del risparmio energetico si sta diffondendo sempre maggiormente in Italia e quindi, oggi, probabilmente, è più frequente riuscire a trovare validi esempi anche italiani.

In effetti, i segnali positivi sono tanti, da circa dieci anni, il Saiedue Living, la fiera

20

20_ Georg W. Reinberg, Weidling. Uffici e laboratori Biotop. Progetto vincitore della prima edizione del premio "Architettura sostenibile"
21_ Ernesto Mistretta, Marsala (TP). Residenza privata. Progetto vincitore della seconda edizione del premio "Architettura sostenibile"
22_ Ernesto Mistretta, Loc. Poggi del Sasso – Cinigiano (Grosseto). Stabilimento enologico "Collemassari". Progetto vincitore della terza edizione del premio "Architettura sostenibile"
23_ Logo Naturapolis

21

22

23

dell'edilizia di Bologna, ospita, in collaborazione con Edicom Edizioni, Naturapolis, una rassegna che ha lo scopo di mettere a conoscenza degli operatori del settore edilizia, dai progettisti agli utenti finali, i prodotti di rilievo nel campo del costruire sostenibile e le innovazioni per il risparmio energetico e promuove la diffusione del concetto di sostenibilità attraverso l'organizzazione di alcune giornate di seminari.
Inoltre, sempre più spesso, anche le singole ditte, o le associazioni di ditte, produttrici del settore organizzano convegni sull'argomento.
Non da meno sono le Università Italiane all'interno delle quali si organizzano un sempre maggior numero di master e corsi sull'edilizia sostenibile.
A tale proposito non si può non ricordare che nel 2006 due importanti congressi internazionali sulla sostenibilità ambientale si sono svolti in due università italiane: il World Renewable Energy Congress (WREC) a Firenze e il XXXIV IAHS World Congress Sustainable Housing Design: Emphasizing Urban Housing a Napoli.
Eventi di tale importanza non solo sono un importante momento di confronto tra professori e ricercatori di tutto il mondo, ma, con la pubblicità da cui sono accompagnati, sono in grado di attirare l'attenzione dei tecnici del settore.

1.3. LA VALUTAZIONE DEL PROGETTO

L'emanazione delle normative nazionali sul risparmio energetico è inizialmente proceduta molto a rilento; conseguentemente, dai primi anni 90 del XX secolo, vari centri di ricerca hanno elaborato sistemi di certificazione energetica che sono, per il committente, una garanzia del rispetto di certi requisiti, e, per il tecnico, sia un riconoscimento della qualità del proprio lavoro, sia una guida affidabile nella progettazione di un edificio sostenibile. Questi metodi di valutazione sono di tre tipi: i modelli energetici, i metodi a punteggio e i bilanci energetici (ecobilanci).

1.3.1. I modelli energetici

I modelli energetici hanno come carattere distintivo un consumo massimo annuale che il sistema edilizio deve necessariamente rispettare per ridurre l'inquinamento. Partendo dal presupposto che, come detto nel paragrafo precedente, il costo dell'energia rinnovabile non è ancora competitivo, in primo luogo comportano la riduzione massima dei consumi e il soddisfacimento del fabbisogno energetico residuo usando soprattutto fonti energetiche rinnovabili. Proprio perché gli utenti sono interessati alla convenienza economica, il progettista deve garantire che il maggior costo di costruzione non sia superiore al 10% e sia ammortizzabile in pochi anni.

KlimaHaus
CasaClima

Certificato

Proprietario Paolo Rossi
Ubicazione Via Rossi 9
Comune Verano
Concessione Edilizia XX/200X/C
Progettista Impresa di costruzioni Rossi

Indice termico dell'edificio

Categoria di consumo di calore

basso fabbisogno di calore

A — $HWB_{NGF} \leq 30$ kWh/(m²·a)
B — $HWB_{NGF} \leq 50$ kWh/(m²·a)
C — $HWB_{NGF} \leq 70$ kWh/(m²·a)
D — $HWB_{NGF} \leq 90$ kWh/(m²·a)
E — $HWB_{NGF} \leq 120$ kWh/(m²·a)
F — $HWB_{NGF} \leq 160$ kWh/(m²·a)

alto fabbisogno di calore

Per edificazioni in modo sostenibili viene conferita la certificazione +

Indice termico riferito all'ubicazione 5 kWh/(m²·a)

Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige
Ufficio Aria e Rumore

Direttore d'ufficio Norbert Lantschner

Data 21.12.2005

ai sensi del Decreto del Presidente della Provincia, 29 settembre 2004, n. 34

24

Al variare della zona in cui i modelli sono stati elaborati, i consumi massimi previsti cambiano. Ad esempio, il Minergie svizzero prevede, per gli edifici nuovi, un consumo totale massimo di 45 kWh/m^{2}a di cui 17 kWh/m^{2}a adibiti a consumi elettrici, e, per gli edifici costruiti prima del 1990, un consumo totale di 90 kWh/m^{2}a; oppure il Passivhaus tedesco, invece, limita i consumi a 42 kWh/m^{2}a totali con soli 15 kWh/m^{2}a per il fabbisogno termico.

In Italia pioniere della materia è stata la Provincia di Bolzano che ha elaborato la certificazione Casa Clima. Nella Provincia di Bolzano, per ogni casa nuova, deve essere effettuato il calcolo del fabbisogno energetico, facilmente eseguibile attraverso il foglio di calcolo di excel messo gratuitamente a disposizione sul sito internet della Provincia. Le possibili categorie di fabbisogno energetico sono sette: Oro, A, B, C, D, E, F.

Per avere l'abitabilità in Alto Adige, la casa deve ricadere almeno nella categoria C, mentre per avere la certificazione Casa Clima è necessario appartenere ad una delle prime tre:

1. Casa Clima Oro, massimo 10 kWh/m^{2}a, chiamata anche "casa da un litro" perché in un anno consuma un solo litro di gasolio per m^2 di superficie abitata;
2. Casa Clima A, massima 30 kWh/m^{2}a, o "casa da tre litri";
3. Casa Clima B, massimo 50 kWh/m^{2}a, o "casa da cinque litri".

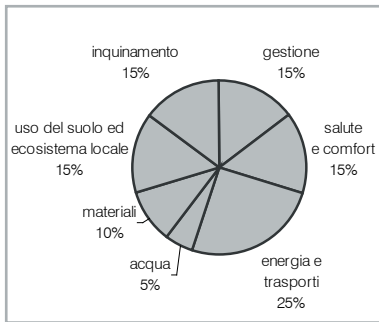
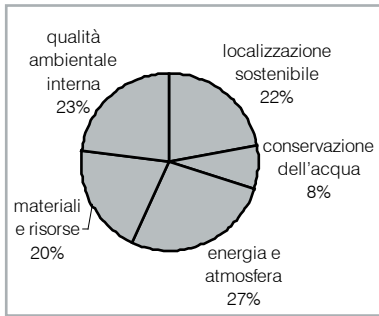
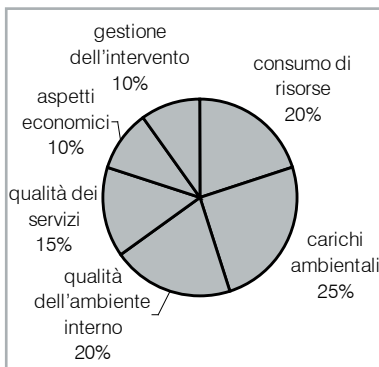
Inoltre, è possibile richiedere il certificato Casa Clima $^{\text{più}}$, in questo caso bisogna rispettare sei requisiti:

1. fabbisogno termico per il riscaldamento inferiore ai 50 kWh/m^2 per anno;
2. nessun utilizzo di fonti energetiche di origine fossile;
3. nessun utilizzo di isolanti termici sintetici o contenenti fibre nocive;
4. nessun utilizzo di pavimenti, finestre e porte in PVC;
5. nessun utilizzo in ambienti chiusi di impregnanti chimici per il legno, di colori e di vernici contenenti solventi;
6. nessun utilizzo di legno tropicale.

Complessivamente si tratta di un sistema di certificazione che mira ad essere semplice ed efficace fornendo, sia ai tecnici del settore, sia ai proprietari e ai possibili acquirenti, poche informazioni fondamentali.

1.3.2. I metodi a punteggio

I metodi a punteggio invece si basano, per la valutazione della sostenibilità, su una serie di requisiti e a ciascuno di questi è dato un punteggio in modo da stilare una sorta di pagella ambientale. I vari requisiti hanno un peso diverso sul totale, a seconda della loro importanza, e comprendono tutti i fattori che influiscono sulla sostenibilità, dal consumo energetico all'uso di risorse naturali.

24_ Certificato Casa Clima
25_ Peso percentuale delle categorie del BREAM
26_ Peso percentuale delle categorie del LEED
27_ Peso percentuale delle categorie del GBTool

25

26

27

I metodi più importanti a livello internazionale sono: il BREAM, il LEED e il GBTool.

Il BREAM (British Research Establishment Environmental Assessment Method), elaborato in Gran Bretagna da ECD Energy & Environment in collaborazione con BRE (Building Research Establishment), è stato il primo di questi metodi di calcolo. Dalla prima edizione del 1990, ideata solo per uffici di nuova costruzione, il BREAM si è poi evoluto inserendo anche la valutazione di uffici esistenti ed edifici residenziali e industriali sia nuovi sia esistenti.

I requisiti sono raggruppati in sette categorie ognuna con un numero massimo di crediti attribuibile:

1. gestione (9 crediti);
2. salute e comfort (22 crediti);
3. energia e trasporti(41 crediti);
4. acqua (8 crediti);
5. materiali (13 crediti);
6. uso del suolo ed ecosistema locale (9 crediti);
7. inquinamento (11 crediti).

Il numero di crediti non riflette la reale importanza delle categorie perché il giudizio finale dipende da una somma pesata. Si ottiene alla fine un giudizio (discreto, buono, molto buono, eccellente) che esprime complessivamente la sostenibilità dell'edificio progettato.

Molto più recente, il "LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Green Building Rating System" è stato ideato dall'istituto di ricerca statunitense USGBC (US Green Building Council), che rilascia una certificazione corredata da una valutazione del rispetto dei requisiti richiesti: Platino, Oro, Argento e Bronzo.

Valido sia per gli edifici nuovi sia per i vecchi, il LEED è un criterio di valutazione e di progettazione e si articola in cinque categorie, ad ognuna delle quali è attribuito un peso percentuale:

1. localizzazione sostenibile (22%);
2. conservazione dell'acqua (8%);
3. energia e atmosfera (27%);
4. materiali e risorse (20%);
5. qualità ambientale interna (23%).

In questo metodo ci sono prestazioni minime su cui non si concedono deroghe, come per esempio l'isolamento termico o la predisposizione per la raccolta differenziata dei rifiuti, perché sono considerati prerequisiti e non influiscono sul punteggio.

Il GBTool (Grenn Building Tool), a differenza degli altri due metodi, è stato ela-

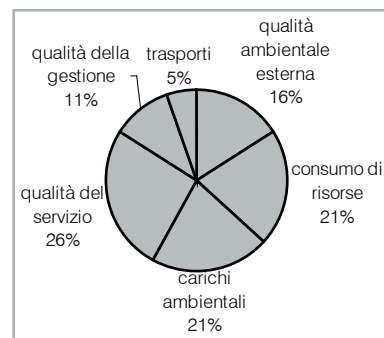
borato attraverso una collaborazione internazionale di 25 paesi (fra cui anche l'Italia), il Grenn Building Challenge, promossa a partire dal 1996 dal Natural Resources Canada. Si configura quindi, più che come un sistema di certificazione, come un sistema di ricerca internazionale con linee guida generali, modificabili a seconda delle caratteristiche del luogo in cui è applicato.

E' rivolto a edifici nuovi e esistenti e, come gli altri, prevede una serie di requisiti aventi un loro peso percentuale:

1. consumo di risorse (20%);
2. carichi ambientali (25%);
3. qualità dell'ambiente interno (20%);
4. qualità dei servizi (15%);
5. aspetti economici (10%);
6. gestione dell'intervento (10%);
7. trasporti (da definire).

Queste categorie sono articolate in un complesso di sottocategorie ognuna con il suo punteggio e spesso dimensionate in modo differente per ogni singolo paese. Inoltre, elemento assolutamente originale, è stato introdotto il "reference building" cioè un edificio di riferimento costruito in conformità alle normative vigenti nello Stato interessato e avente caratteristiche tipologiche, dimensioni e destinazione d'uso simili a quelle dell'edificio in progetto.

Al GBTool si ispira il "Protocollo ITACA[32]" uno strumento innovativo per l'Italia che è stato elaborato tramite una collaborazione tra quasi tutte le regioni italiane. L'impulso è partito dalla Regione Friuli-Venezia Giulia che nel febbraio del 2002 ha proposto istituzione di un gruppo di lavoro in cui tutte le diverse esperienze che si sono spontaneamente sviluppate in Italia sulla sostenibilità ambientale in edilizia potessero confrontarsi per elaborare strategie comuni nel settore. Durante la fase iniziale uno dei contributi più interessanti è stato il progetto ideato, sulle linee guida del GBTool[33], dall'Environment Park di Torino per la realizzazione del Villaggio Olimpico per le Olimpiadi invernali del 2006. Questo esempio ha stimolato il gruppo di lavoro a studiare i vari metodi di calcolo elaborati in tutto il mondo in modo da scegliere quello più adatto al caso Italiano. Con questa analisi è emerso che generalmente i sistemi esistenti hanno il limite di poter essere applicati solo nei luoghi per i quali sono stati ideati. Unica eccezione è il GBtool, proprio perchè è stato concepito tramite una collaborazione internazionale, per cui si è deciso di utilizzarlo come base per la redazione del Protocollo.

A dimostrazione del grande interesse per la materia, quasi tutte le regioni italiane[34] hanno aderito al programma, per lavorare sia alla definizione delle caratteristiche di un edificio sostenibile, sia alla predisposizione di un testo di legge quadro di riferimento nazionale[35] per la redazione di normative regionali o locali,

28

28_ Ipotesi di peso percentuale delle categorie del Protocollo ITACA: il peso attribuito a ciascuna categoria può variare in base al contesto

29_ Scala di valutazione delle prestazioni nel Protocollo ITACA

che promuovano l'introduzione di principi di architettura sostenibile, attraverso regolamenti riguardanti l'urbanistica e l'edilizia e attraverso l'attività di ricerca, di formazione e di divulgazione.

Il Protocollo è corredato da settanta schede, una per ogni requisito valutato. I requisiti, talvolta articolati in sotto requisiti, sono raggruppati in categorie, che a loro volta sono raggruppate in sette aree di valutazione, ognuna delle quali costituisce una tabella.

Le aree di valutazione sono:

1. Qualità ambientale esterna. Analisi delle condizioni che possono influenzare negativamente il contesto in cui l'edificio è inserito (cioè la presenza di manufatti che favoriscono l'innalzamento della temperatura o intralciano la ventilazione e la presenza di fonti di inquinamento locale) e delle interazioni tra edificio e contesto.
2. Consumo di risorse. Analisi dei consumi energetici in fase di gestione dell'edificio, delle modifiche sul territorio e del consumo di acqua e materiali.
3. Carichi ambientali. Controllo delle emissioni nocive e della produzione e gestione dei rifiuti.
4. Qualità ambientale interna. Verifica dei requisiti ambientali dell'edificio e cioè l'illuminamento, l'isolamento acustico, la temperatura interna, la qualità dell'aria.
5. Qualità del servizio. Controllo della predisposizione alla facile manutenzione e modifica dell'organismo edilizio.
6. Qualità della gestione. Controllo della predisposizione alla facile gestione dell'organismo edilizio.
7. Trasporti. Verifica della disponibilità di trasporti pubblici.

La scelta dei requisiti è fatta considerando alcune caratteristiche fondamentali,

-2	prestazione fortemente inferiore allo standard industriale ed alla pratica accettata, corrispondente anche al punteggio attributo ad un requisito nel caso in cui non sia stato verificato;
-1	prestazione inferiore allo standard industriale e/o alla pratica accettata;
0	prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti nella regione ("reference building"), o, nel caso in cui non vi siano specifici regolamenti di riferimento, pratica comunemente utilizzata nel territorio;
1	lieve miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune;
2	moderato miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune;
3	significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune, è da considerarsi come la pratica corrente migliore;
4	moderato incremento della pratica corrente migliore;
5	prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla pratica corrente, di carattere sperimentale e dotata di prerogative di carattere scientifico.

29

REQUISITO: 3.3.1 – RIFIUTI SOLIDI DA COSTRUZIONE –	
Area di Valutazione: 3 - Carichi ambientali	Categoria di requisito: 3.3 - Gestione dei rifiuti solidi da cantiere
Esigenza: Ridurre i rifiuti da costruzione e il consumo di materie prime non rinnovabili. Gestione eco-compatibile dei rifiuti da costruzione.	Indicatore di prestazione: Rapporto tra il peso dei rifiuti solidi che non vengono inviati in discarica e il peso totale dei rifiuti solidi (%).
	Unità di misura: Kg/Kg.
Metodo e strumenti di verifica: relazione tecnica con illustrate le scelte progettuali che tendono alla riduzione dei rifiuti da costruzione. Calcolo della percentuale in peso del materiale solido di risulta derivante dall'attività di cantiere di cui si prevede il recupero rispetto all'insieme del peso del materiale di risulta. Previsione nel capitolato speciale del trasporto del materiale di risulta agli impianti di trattamento e non in conferimento a discarica. Stima degli sfridi attraverso il computo metrico e la valutazione sui sistemi di costruzione/assemblaggio degli elementi. Per ciascun materiale solido di risulta indicazione dei possibili luoghi di conferimento (impianti per recupero materiali/componenti presenti in un raggio di 100 km).	
Strategie di riferimento: progettazione dell'edificio e degli elementi/componenti utilizzando soluzioni mirate a limitare la produzione di rifiuti. Impiego di prodotti facilmente recuperabili e limitazione delle opere di movimento terra.	

Scala di prestazione:

Prestazione quantitativa	Punteggio	Punteggio raggiunto (*)
Materiale degli sterri e rifiuti solidi da costruzione conferito in discarica	-2	
Riutilizzo 50% materiale degli sterri e rifiuti solidi da costruzione in discarica	-1	
100% rifiuti solidi da costruzione in discarica	0	
Fino al 20% rifiuti solidi da costruzione riutilizzati	1	
Fino al 40% rifiuti solidi da costruzione riutilizzati	2	
Fino al 60% rifiuti solidi da costruzione riutilizzati	3	
Fino al 80% rifiuti solidi da costruzione riutilizzati	4	
Fino al 100% rifiuti solidi da costruzione riutilizzati	5	

(*) *Giustificare il punteggio raggiunto con idonee motivazioni e/o documentazioni da allegare.*

Riferimenti normativi: DLgs. 5 febbraio 1997, n. 22 "Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio".

Riferimenti tecnici:

30

quali il rilievo ambientale, sociale, economico e scientifico, l'interesse pubblico. Inoltre i requisiti devono essere quantificabili o definibili anche solo a livello qualitativo ma comunque secondo criteri quanto più precisi possibile.

La valutazione avviene tramite le suddette schede in cui, inquadrato chiaramente il requisito nella categoria e nell'area di valutazione di appartenenza, si spiega quale sia l'esigenza che deve essere soddisfatta e quale sia l'indicatore usato per la valutazione. Nella scheda è inserito uno strumento di verifica nel quale si spiega come attribuire i punteggi nel modo più semplice e univoco possibile. Infine, sono inseriti consigli sul metodo di progettazione, per raggiungere un buon

30_ Esempio di scheda di valutazione di un requisito

punteggio, le norme vigenti e i riferimenti tecnici come le norme UNI.
La valutazione, giustificata da idonee motivazioni e documenti allegati, è simile a quella precedentemente usata nel GBTool[36].
L'attribuzione del punteggio al requisito è il primo passo per la valutazione dell'edificio. A questo segue, in base ad un valore percentuale che può variare secondo il contesto, la somma pesata dei voti di tutti i requisiti appartenenti ad una categoria. Analogamente saranno sommati i punteggi delle categorie di ciascuna delle sette aree, da cui infine, allo stesso modo, si otterrà un voto complessivo.
La prima considerazione che si può fare è che un edificio di nuova costruzione non dovrebbe avere un punteggio negativo per nessuna area di valutazione. E' però importante sottolineare che il raggiungimento della sufficienza (punteggio zero) non deve riguardare solo le aree di valutazione o il giudizio complessivo, ma anche i singoli requisiti, in quanto altrimenti si dovrebbe ammettere che relativamente ad alcuni aspetti non si è costruito secondo le prescrizioni minime per legge.
Il Protocollo ITACA è un sistema di valutazione abbastanza complesso, per questo motivo è stato elaborato un protocollo sintetico a 28 schede che riassume i punti ritenuti fondamentali per la corretta valutazione di un edificio.
Inoltre, mirato a valutare unicamente l'efficienza energetica dell'edificio, è stato elaborato anche il "Protocollo ITACA sintetico, per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio". E' costituito da due aree di valutazione, articolate come segue:

1. Consumo di risorse
    - 1.1. energia primaria per la climatizzazione invernale
    - 1.2. acqua calda sanitaria
    - 1.3. contenimento consumi energetici estivi
        - 1.3.1. controllo della radiazione solare
        - 1.3.2. inerzia termica
    - 1.4. illuminazione naturale
    - 1.5. energia elettrica da fonti rinnovabili
    - 1.6. materiali eco-compatibili
        - 1.6.1. materiali rinnovabili
        - 1.6.2. materiali riciclati/recuperati
    - 1.7. acqua potabile
        - 1.7.1. consumo di acqua potabile per irrigazione
        - 1.7.2. consumo di acqua potabile per usi indoor
    - 1.8. mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio
2. Carichi ambientali

2.1. emissione di gas serra
2.2. rifiuti solidi
2.3. rifiuti liquidi
2.4. permeabilità aree esterne

L'ultima edizione del Protocollo sintetico, risalente al 5 dicembre 2005, modifica la scala di punteggio, in accordo con il GBTool, eliminando la classe -2 e reimposta la valutazione del fabbisogno di energia primaria in modo da renderla congruente al Dlgs 192.

31

1.3.3. Gli ecobilanci

Gli ecobilanci sono sistemi di valutazione più completi in quanto definiscono l'impatto ambientale di tutto il processo edilizio, non del solo edificio, tramite una funzione complessa con la quale sono considerati tutti gli effetti che tale processo ha generato. Il più conosciuto tra gli ecobilanci, a livello internazionale, è il metodo LCA (Life Cycle Assessment). E' un procedimento di valutazione di impatto ambientale con il quale si analizza tutto il ciclo di vita di un edificio, dal reperimento dei materiali fino allo smaltimento delle sue rovine. In questo modo è possibile scegliere in fase progettuale tra differenti soluzioni valutando le prestazioni dei materiali, i procedimenti costruttivi, le modalità di esercizio, in base all'impatto ambientale prodotto.

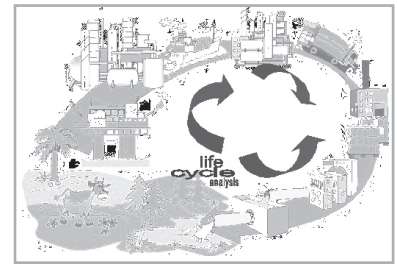
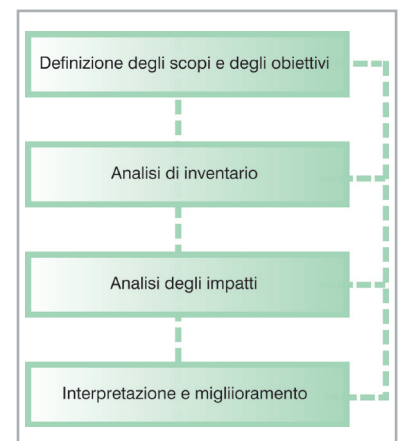
Di LCA si è iniziato a parlare negli anni '60 del XX sec. con lo sviluppo di vari metodi poi uniformati ad opera del SETAC[37], il quale avviò un dibattito scientifico che ebbe come principale risultato la pubblicazione nel 1993 di un quadro di riferimento, "Guidelines for Life Cycle Assessment: a code of pratice[38]". Seguendo la via della standardizzazione, l'ISO ha emanato nel 1997 la norma ISO 14040 che definisce cosa è un LCA e ne spiega la struttura e le parti; successivamente sono state emanate le normative specifiche per ogni fase.

Un LCA si articola in quattro fasi fondamentali:

1. Definizione degli scopi e degli obbiettivi (Goal and scope definition), normata dalla 14041;
2. Analisi di inventario (LCI, Life Cycle Inventory), normata dalla 14041;
3. Analisi degli impatti (LCIA, Life Cycle Impact Assessment), normata dalla 14042;
4. Interpretazione e miglioramento (Life Cycle Interpretation), normata dalla 14043.

32

1.3.3.1. *Definizione degli scopi e degli obbiettivi*

Nella prima fase si definisce in primo luogo quale è la finalità, in genere lo studio di LCA è sviluppato per ricerca scientifica, etichettature ambientali, supporto ai sistemi di gestione ambientale o progettazione ecocompatibile. Una volta individuato il processo che si deve analizzare, si decidono il livello di precisione

richiesto e i confini del sistema (geografici o tecnologici) e si suddivide il processo in sottoprocessi ai quali è associata un'unità di misura appropriata, detta "unità funzionale".

1.3.3.2. Analisi di inventario

La seconda fase è particolarmente importante in quanto sono analizzati i flussi in entrata (input) e in uscita (output) di materiali ed energia, che interessano il ciclo di vita, generalmente suddiviso in acquisizione di materie, produzione, trasporto e distribuzione, uso e manutenzione, riciclo, gestione dei rifiuti. Il sistema riceve materie prime, energia (comprendente i combustibili) e acqua e genera calore disperso, emissioni in aria, emissioni in acqua e rifiuti solidi. I risultati sono poi riordinati nell'inventario dei dati, raggruppati in categorie energetiche:

- energia;
- combustibili primari;
- feedstock;

e ambientali:

- materie prime;
- rifiuti solidi;
- emissioni in aria;
- emissioni in acqua.

E' bene notare che nell'inventario si separa l'energia di feedstock, che è l'energia contenuta in materiali potenzialmente combustibili utilizzati diversamente nel processo. Infatti, mentre alla fine del processo l'energia ottenuta dai combustibili è definitivamente esaurita, quella di feedstock è ancora disponibile per nuovi processi.

In realtà un prodotto giunto alla fine della sua vita utile può essere:

- usato come materia prima di un nuovo processo attraverso il riciclo[39] o il riuso[40];
- usato come fonte energetica, sfruttando il suo feedstock o, direttamente, attraverso la combustione dei materiali, termovalorizzazione, oppure, indirettamente, trasformando i materiali in gas combustibili, massificazione, pirolisi, digestione anaerobica;
- smaltito in discarica[41].

Nel caso in cui si scelga il recupero di materiale o energia è necessario poi quantificare il vantaggio ambientale ottenuto sottraendo dagli impatti totali quelli evitati utilizzando appunto il "Metodo degli impatti evitati". In alcuni casi può succedere che utilizzando materiali riciclati l'impatto sia talmente ridotto da ottenere un valore negativo.

1.3.3.3. Analisi degli impatti

La terza fase è quella in cui si analizzano gli impatti riordinati nell'inventario.

31_ Lo LCA
32_ Le quattro fasi dello LCA

Per impatto si intende il risultato fisico di una certa operazione, ad esempio l'emissione di CO_2 in una combustione. Ogni impatto è associato a uno o più effetti ambientali o categorie di impatto, che sono selezionate in modo da monitorare:

- gli effetti sulla popolazione e sull'ecosistema (ecological effects);
- gli effetti sulla salute e la sicurezza dell'uomo (human health and safety effects);
- l'esaurimento di risorse, sia energia che materiali (resource depletion);
- l'impatto sulle attività umane e il degrado dell'habitat (habitat degradation).

La prima parte dello LCIA consiste quindi nella definizione delle categorie di impatto:

1. L'effetto serra (global warming), fenomeno naturale che garantisce il riscaldamento della terra, è collegato alla presenza di alcuni gas, tra i quali anidride carbonica (CO_2), ozono (O_3), vapor acqueo, metano (CH_4), che permettono il passaggio delle radiazioni solari verso la terra e impediscono il passaggio delle radiazioni infrarosse dalla terra verso la bassa atmosfera. Con la rivoluzione industriale si è avuto un aumento dei gas serra e quindi della capacità dell'atmosfera di trattenere calore; la conseguenza è un troppo repentino innalzamento della temperatura del globo terrestre.
2. L'assottigliamento della fascia di ozono (stratospheric ozone depletion), è un fenomeno legato alla presenza di clorofluorocarburi (CFC), idroclorofluorocarburi (HCFC), radicali liberi e cloruri, che riducono l'ozosfera, cioè la fascia tra i 25 e i 50 Km di distanza dalla crosta terrestre dove si forma l'ozono. Tale fenomeno è dannoso in quanto la fascia di ozono assorbe quasi completamente la radiazione ultravioletta proveniente dal sole.
3. L'acidificazione (acidification), è la ricaduta dall'atmosfera di particelle, gas e precipitazioni acide, causate dagli ossidi di zolfo (SO_X) e, in parte minore dagli ossidi di azoto (NO_X). Le conseguenze sono danni sia a laghi, fiumi, vegetazione e suoli forestali, sia a materiali da costruzione e vernici.
4. L'eutrofizzazione (nutrient enrichment) è l'aumento della concentrazione di sostanze nutritive in ambiente acquatico, con conseguente sviluppo abnorme di alghe (un esempio sono le acque costiere dell'Emilia-Romagna). Tale fenomeno è causa di gravi danni ambientali ad esempio l'abbassamento della concentrazione di ossigeno in acqua.

5. La formazione di smog fotochimico (photosmog formation) consiste nella formazione di tutta una serie di inquinanti secondari quali ozono, perossiacetilnitrato (PAN), perossibenzoilnitrato (PBN), aldeidi, che si formano in seguito alla reazione fotochimica, indotta dai raggi ultravioletti, degli ossidi di azoto (NO_X) e dei composti organici volatili (VOC). Questo tipo di inquinamento, che affligge molte città e aree industrializzate, si verifica in giornate caratterizzate da condizioni metereologiche di stabilità e forte insolazione.
6. La tossicità per l'uomo e per l'ambiente (human and eco-toxicity).
7. Il consumo di risorse (resources depletion) si divide in consumo energetico diretto, espresso in MJ, in consumo di materiali (Kg) e in consumo di combustibili fossili (tep). Le risorse devono essere ulteriormente suddivise in rinnovabili e non rinnovabili.

Una volta individuate le categorie si passa alla classificazione (seconda parte dello LCIA) che consiste nell'inserire gli impatti ambientali riordinati nell'inventario nella categoria di impatto cui appartengo, ossia nell'associare gli impatti ambientali all'effetto ambientale causato. Bisogna considerare che un impatto può generare più effetti ambientali, in questo caso si può agire in due modi, o suddividendo equamente l'impatto tra gli effetti generati, quando tali effetti sono correlati tra loro, o attribuendo il 100% dell'impatto a ciascun effetto nel caso in cui non ci siano correlazioni.

Inoltre un effetto ambientale può essere generato da vari impatti ambientali, ognuno con la propria unità di misura, è quindi necessario uniformare gli impatti appartenenti a ciascuna categoria attraverso la terza parte dello LCIA, la caratterizzazione.

Con la caratterizzazione si associa ad ogni categoria di impatto un indicatore di impatto numerico valutato con un'unica unità di misura. Tutti gli impatti che contribuiscono ad una certa categoria devono essere espressi secondo l'unità di misura di quella categoria. Ad esempio nella classificazione le emissioni di biossido di azoto (NO_2) e di metano (CH_4) sono state inserite nella categoria di impatto "effetto serra", poiché l'indicatore di categoria corrispondente è il "Potenziale di effetto serra (GWP)" ed è valutato in Kg di CO_2 eq[42], le emissioni di biossido di azoto e metano dovranno essere convertite in tale unità di misura e sommate a tutti gli altri contributi in modo da ottenere il valore complessivo del GWP del processo analizzato, avvero in modo da quantificare il contributo di tale processo all'effetto serra.

Il metodo CML v2.1, elaborato dall'università di Leiden, utilizza i seguenti indicatori di categoria:

1. Il potenziale di effetto serra, Global Warming Potential (GWP), è l'indica-

tore di categoria “effetto serra”, ed è espresso in Kg di CO_2 eq. Per ogni impatto appartenente alla categoria, si calcola il GWP di un kg di sostanza dividendo il contributo che dà all’effetto serra il rilascio di un Kg di tale sostanza per il contributo di un kg di CO_2. Quindi si moltiplica il GWP per i kg totali della sostanza. E’ necessario osservare che il GPW è sempre valutato in funzione del tempo di esposizione, generalmente si scelgono i 100 anni.

2. Il potenziale di riduzione dell’ozono, Ozone Depletion Potentential (ODP), è l’indicatore della categoria “assottigliamento della fascia di ozono”, ed è espresso in Kg di CFC-11 eq (triclorofluorometano). In modo analogo al caso precedente, si calcola lo ODP di un Kg di sostanza in base alle reazioni di rottura di una molecola di ozono provocate in un anno.
3. Il potenziale di acidificazione, Acidification Potential (AP), è l’indicatore della categoria “acidificazione”, ed è espresso in Kg di SO_2 eq (biossido di azoto). Il procedimento di equivalenza per il calcolo dello AP è analogo ai casi precedenti e si basa sulla capacità potenziale che ha una sostanza di creare ioni $H+$.
4. Il potenziale di eutrofizzazione, Nutrification Potential enrichment (NP), è l’indicatore della categoria “eutrofizzazione”, ed è espresso in Kg di PO_4 eq (fosfato). Il calcolo dello NP si effettua, con lo stesso metodo degli altri indicatori, in base al potenziale contributo alla formazione di biomasse.
5. Il potenziale di formazione dello smog fotochimico, Photochemical Ozone Creation Potential (POCP), è l’indicatore della categoria “formazione di smog fotochimico”, ed è espresso in Kg di C_2H_4 eq (etilene) secondo un metodo di conversione analogo ai precedenti.
6. La categoria “tossicità per l’uomo e per l’ambiente” è rappresentata da vari indicatori. Per quanto riguarda la tossicità per l’uomo questa si divide in tre indicatori che rappresentano la quantità sostanze tossiche per l’uomo emesse in aria (Human-toxicological classification value for air, HCA), acqua (Human-toxicological classification value for water, HCW) e terra (Human-toxicological classification value for soil, HCS). In genere, poiché le emissioni del terreno contaminano l’acqua, si usano solo i primi due indicatori, che rappresentano i Kg di peso corporeo contaminati per 1 Kg di sostanza. La tossicità per l’ambiente si valuta secondo due indicatori, la tossicità acquatica (Aquatic ecotoxicity, ECA) e la tossicità terrestre (Terrestrial ecotoxicity, ECT) che, analogamente al caso precedente, si trascura. Lo ECA è valutato in termini di m^3 di

acqua inquinata per 1 Kg di sostanza.

7. L'esaurimento delle risorse, è l'indicatore del consumo di risorse e si valuta in base al rapporto tra il consumo della risorsa e la riserva di tale risorsa moltiplicato per il potere calorifico inferiore (LHV) di un Kg, m^3, o MJ di tale risorsa.
8. La produzione di rifiuti solidi (solid waste) è infine l'indicatore che rappresenta i rifiuti prodotti da un Kg di sostanza.

Fino alla caratterizzazione i vari centri di ricerca hanno elaborato metodi abbastanza simili, mentre, per quanto riguarda le ultime fasi di un LCIA, sono state sviluppate teorie differenti per cui uno LCIA si divide in una parte obbligatoria costituita da definizione delle categorie di impatto, classificazione e caratterizzazione e una non obbligatoria costituita da normalizzazione e pesatura.

Queste ultime due parti consistono nel riportare i risultati della caratterizzazione in indicatori omogenei in modo da poterli riassumere sinteticamente e dare una valutazione complessiva del processo. In particolare, quindi, il procedimento seguito per la normalizzazione può essere organizzato secondo differenti approcci:

1. Approccio mandatario (Proxy approaches), consiste nell'individuare, tra tutti gli indicatori disponibili, quelli significativi per illustrare alcuni impatti specifici del processo analizzato. E' quindi un metodo che non si può applicare indifferentemente a studi diversi.
2. Monetizzazione (Monetarisation), in questo caso si considerano le spese necessarie per controllare i danni ambientali (Environmental control costs) oppure la disponibilità ad affrontare maggiori spese, che gli abitanti di una determinata zona manifestano, per ridurre gli impatti ambientali (Environmental damage costs).
3. Distanza dall'obbiettivo (Distance to target); distanza dagli obbiettivi fissati dalle leggi nazionali o internazionali.
4. Valutazione di esperti (Panel approach), in questo caso si utilizzano coefficienti di pesatura elaborati da un gruppo di tecnici che determinano l'importanza delle varie categorie di impatto.
5. Approccio tecnologico (Technology approaches), approccio basato sulle tecnologie usate per l'abbattimento delle emissioni.

Ciascuno dei metodi riportati propone una sintesi dei risultati completamente diversa dalle altre, rappresentata da punteggi non esplicitamente collegati alle emissioni e, quindi, comprensibile solo se si conosce il fine per cui è stata elaborata. Inoltre spesso questi metodi sono legati al contesto in cui sono stati elaborati e quindi non sono sempre applicabili.

1.3.3.4. Interpretazione e miglioramento

La quarta e ultima fase ha lo scopo di proporre cambiamenti nel processo per ridurne l'impatto ambientale.

Il metodo LCA è abbastanza complesso, sicuramente la sua applicazione può essere semplificata dall'uso dei software attualmente in commercio, tuttavia bisogna considerare che controllare con lo LCA l'intero processo edilizio diventa dispersivo e scoraggiante. E' invece più immediato applicarlo per valutare quale siano, tra i prodotti adatti all'edificio considerato, quelli con un minore impatto. L'ideale sarebbe avere a disposizione una vasta gamma di prodotti alternativi per i quali le case produttrici abbiano già provveduto a redigere un profilo ambientale, in modo da facilitare le scelte progettuali.

1.4. LA POLITICA INTEGRATA DEI PRODOTTI: IL LIBRO VERDE IPP

La scelta del materiale adatto, sia da un punto di vista prestazionale che ambientale, si inserisce in un discorso più ampio che riguarda la sostenibilità ambientale di qualunque tipo di prodotto e, più in generale, anche dei servizi. Proprio per promuovere la produzione di prodotti ecologici e stimolare il dibattito sull'argomento, nel Febbraio 2001 la Commissione delle Comunità Europee ha presentato il "Libro verde sulla politica integrata dei prodotti (IPP)[43]". La strategia proposta è un'azione integrata, nel senso che non ci si deve basare unicamente sulla produzione di prodotti ecologici, ma questa deve essere affiancata dall'informazione dei consumatori, in modo che conoscano con chiarezza e sappiano interpretare correttamente le caratteristiche di ciò che stanno comprando, e dall'applicazione del principio "chi inquina paga", in modo che chi produce o acquista prodotti ecocompatibili ne abbia un vantaggio economico: ad esempio sono proposte agevolazioni fiscali.

Da un punto di vista tecnico l'IPP prevede che la valutazione dei prodotti sia impostata sull'intero ciclo di vita e che la loro progettazione, garantendo comunque funzionalità, salute e sicurezza, segua linee guida che favoriscano il rispetto dell'ambientale. Ad esempio si consiglia l'uso di materiali rinnovabili, longevi e che necessitino di poca manutenzione, l'eliminazione di sostanze tossiche e la scelta di processi produttivi poco energivori o alimentati da fonti rinnovabili. Inoltre il prodotto dovrebbe avere differenti possibilità di utilizzo e dovrebbe essere facilmente disassemblabile in modo da favorirne il riciclaggio.

Affinché l'impegno delle imprese nella produzione ecologica sia premiato da un successo commerciale, è necessario che la migliore qualità dei materiali e dei prodotti sia pubblicizzata, in modo che i consumatori sappiano di poter

33

scegliere se ciò che acquistano è molto inquinante o nocivo per la salute. Solo innescando un simile meccanismo di domanda e offerta si può sperare che la politica integrata ottenga buoni risultati.

Per questo motivo nel Libro verde si insiste molto sull'utilità delle etichette ambientali regolate dalla serie di norme ISO[44] 14020, facenti parte della famiglia ISO 14000, strumento normativo che le aziende hanno a disposizione per migliorare la gestione ambientale delle proprie attività, dei prodotti e dei servizi. L'elaborazione è stata guidata, a partire dal 1993, dal Comitato Tecnico internazionale ISO/TC 207 "Environmental Management"; l'Italia ha collaborato attraverso la Commissione Ambiente dell'UNI[45], ed in particolare il GL1 "Sistemi di gestione ambientale" per quanto riguarda i sistemi di gestione, audit[46], prestazioni e comunicazione ambientale e il GL10 "Gestione ambientale di prodotto" per ciò che concerne valutazione del ciclo di vita, etichettatura e progettazione ambientale dei prodotti.

1.4.1. Le etichette ambientali

L'ISO riconosce tre tipi di etichette, il Tipo I normato dalla ISO 14024 del 1999, il Tipo II normato dalla ISO 14021 del 1999 e il Tipo III normato dalla ISO/TR 14025 del 2000; ognuno di questi segue una filosofia diversa di valutazione basata sull'LCA. Il prodotto è quindi sempre valutato sul suo intero ciclo di vita, ma cambiano il metodo di valutazione e i sistemi di rilascio della certificazione.

Il Tipo I è un'etichettatura verificata da terzi, ovvero esiste un ente indipendente che fissa dei requisiti minimi di sostenibilità e verifica che il prodotto o il servizio, per cui si richiede il marchio in questione, li rispetti. Ma non è richiesta solo un'alta qualità da un punto di vista ambientale, bensì il prodotto deve anche assolvere alla propria funzione in modo soddisfacente, cioè deve garantire una minima "adeguatezza all'uso". Si devono quindi associare buone prestazioni e rispetto per l'ambiente in modo che queste certificazioni siano sinonimo di eccellenza e diventino il punto di riferimento da seguire sia per i produttori sia per gli utenti. Si vorrebbe quindi innescare un processo virtuoso per cui le prestazioni garantite dalle etichette di Tipo I, pur non essendo obbligatorie per legge, siano comunque richieste dal maggior numero di produttori perché garantiscono maggiori vendite in quanto per l'utente sono sinonimo di alta qualità.

L'etichettatura di Tipo I più conosciuta a livello europeo è il marchio Ecolabel[47], valido non solo nei 25 Stati Membri dell'Unione Europea ma anche in Norvegia, Islanda e Liechtenstein.

I limiti alla diffusione di questi marchi nascono dal fatto che è necessario fare delle prove, sottoporsi all'analisi di una commissione, che deve essere ripetuta dopo un certo numero di anni, e pagare i diritti. Insomma si tratta di un processo lungo e costoso che spesso scoraggia le imprese.

33_ Il marchio Ecolabel

Per questo motivo sono state elaborate le etichette di Tipo II. Si tratta delle "asserzioni ambientali auto-dichiarate", ovvero dichiarazioni, etichette o attestati di qualità ambientale, riportate sulla confezione del prodotto, sull'imballaggio, nella pubblicità, che i produttori utilizzano per illustrare ai consumatori le proprietà del prodotto.
Questo tipo di etichetta non è subordinato al rilascio di una certificazione da parte di un ente e quindi nemmeno al rispetto di requisiti ambientali prestabiliti, ma all'uso di un linguaggio chiaro che renda affidabili le informazioni che si danno all'acquirente e che permetta che si instauri una concorrenza leale tra gli operatori dello stesso settore. Sono quindi vietate espressioni generiche come "amico dell'ambiente", "verde" o "non inquinante"; se si usa l'espressione "privo di…", quel determinato componente deve essere al di sotto di una certa percentuale; inoltre nella ISO 14021 è definito cosa si intenda per compostabile, degradabile, riciclabile etc.
Un esempio molto diffuso è il marchio ANAB.
La dichiarazione ambientale di Tipo III è invece un documento volontario che illustra l'impatto ambientale del prodotto, sempre secondo le linee del metodo LCA. Attualmente però non è disponibile una norma ISO ma si fa riferimento ad un rapporto tecnico, la ISO/TR 14025, ed è in fase di elaborazione la bozza della norma, ovvero la ISO/CD 14025. Infatti, i paesi membri dell'ISO non sono ancora giunti ad un accordo su alcuni punti fondamentali, come, ad esempio, quali indicatori debbano essere inseriti nella dichiarazione; se la dichiarazione debba essere diversa per ciascuna categoria di prodotto o se si debba definire un'unica dichiarazione generale a cui aggiungere indicatori specifici, in che modo si debba verificare la rispondenza della dichiarazione ai requisiti fissati.
In varie nazioni sono stati elaborati validi esempi di etichette di Tipo III[48], però ciascuna di queste segue schemi differenti che, di fatto, ne limitano molto l'utilità. Infatti, il lato interessante di queste dichiarazioni consiste nella possibilità di un confronto oggettivo tra diversi prodotti di una stessa categoria. Non si tratta dunque di verificare il rispetto di alcuni parametri ambientali o di elaborare un'autodichiarazione di alcune caratteristiche, ma dell'elenco di indicatori prefissati in cui non è espresso alcun giudizio. In questo modo l'acquirente può analizzare sempre lo stesso tipo di dato e valutare il prodotto, all'interno di una categoria di appartenenza, e darne un giudizio in base all'uso che se ne deve fare. Ad esempio in edilizia, per la scelta di un isolante, si potrebbe confrontare l'impatto ambientale in fase di produzione con quello in gestione e decidere in modo consapevole quale sia il prodotto più ecocompatibile.
Quindi, poiché attualmente il commercio non è a livello nazionale, ma inter-

34

35

34_ Il marchio ANAB
35_ La dichiarazione EPD

nazionale, la dichiarazione ambientale deve essere uniformata e ugualmente comprensibile per gli acquirenti e produttori di tutti i paesi.

In Italia, proprio nell'ottica di una collaborazione internazionale, si è scelto di adottare l'EPD (Environmental Product Declaration), altrimenti detto la DAP (Dichiarazione Ambientale di Prodotto), elaborato dallo Swedish Environmental Management Council[49]. Già dal 2001 l'ANPA[50] ha elaborato le linee guida e, con l'autorizzazione del Sincert[51], il Rina[52] ha certificato gli EPD (DAP) di alcuni prodotti.

1.4.2. L'EPD e l'EBD

L'EPD è un documento costituito da poche pagine in cui il produttore deve dare informazioni sintetiche e rispondenti allo schema prestabilito che si articola in tre sezioni:

1. Descrizione dell'azienda e del prodotto (Information about the company and the product). In questa prima parte si presenta brevemente l'azienda e si descrive il prodotto oggetto dell'EPD sia per quanto riguarda la morfologia e le prestazioni, sia per quanto riguarda i materiali e le sostanze chimiche che lo compongono.
2. Dichiarazione ambientale del prodotto (Environmental performance declaration). Dopo aver dichiarato che sistema di calcolo per lo LCA è stato utilizzato, si mostrano i risultati della caratterizzazione elencando, in riferimento alla fase di produzione e d'uso del prodotto, il consumo di risorse rinnovabili e non rinnovabili (distinte tra fonti energetiche e materie prime), il consumo energia elettrica e di acqua, l'impatto ambientale potenziale (5 categorie di impatto), i rifiuti prodotti (suddivisi tra pericolosi e non pericolosi); successivamente si possono aggiungere informazioni sullo smaltimento e il riciclaggio.
3. Informazioni sull'azienda e sulla certificazione (Information from the company and the certification). Questa parte conclusiva comprende le informazioni aggiuntive sull'azienda, dai progetti elaborati nel campo della sostenibilità ambientale ai riferimenti per avere ulteriori informazioni, e le informazioni sull'ente certificatore.

Il fatto che questo tipo di certificazione punti in primo luogo alla chiarezza ed ad una lettura univoca da parte dei tecnici del settore ha portato ad elaborare al Politecnico di Milano[53] una proposta di certificazione energetica degli edifici, Environmental Building Declaration (EBD), con il fine di valutare e certificare gli impatti ambientali di un processo edilizio seguendo uno schema simile a quello utilizzato nell'EPD. Questo ambizioso progetto può essere attuato solo nel momento in cui ci sia una certa disponibilità di materiali e prodotti dotati di certificazione EPD.

1.4.2.1. Un esempio

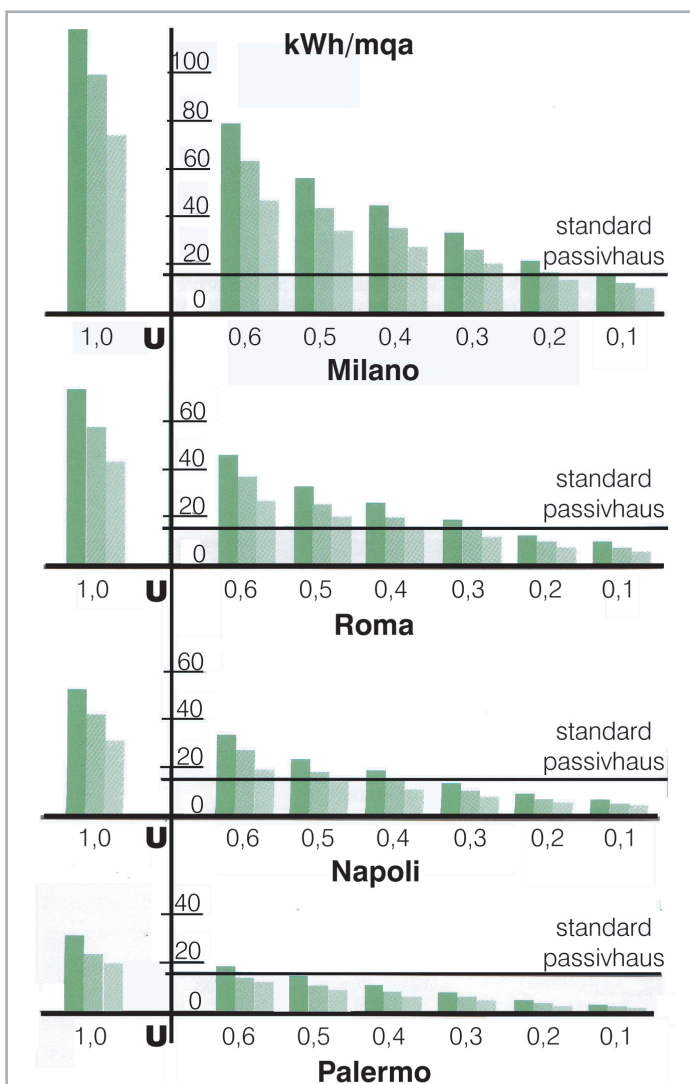
L'idea dell'EBD si inserisce all'interno di una ricerca più ampia volta a capire quale sia la giusta proporzione tra gli impatti in fase di costruzione e quelli in fase di gestione. In particolare è stato valutato, al variare dello spessore di isolante[54] nelle chiusure verticali, il fabbisogno energetico per il consumo invernale di tre tipi edilizi:

- Bifamiliare s/v = 0,53;
- Plurifamiliare in linea s/v = 0,43;
- Plurifamiliare alto s/v = 0,33;

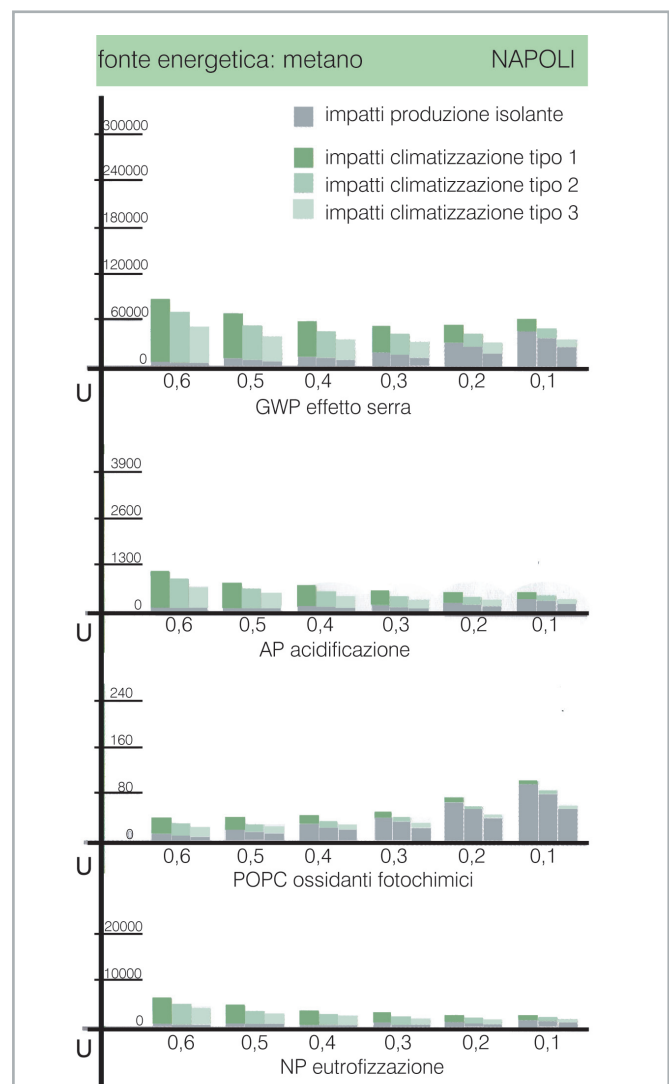
localizzati in quattro differenti zone climatiche:

- Milano GG = 2404
- Roma GG = 1415
- Napoli GG = 1034
- Palermo GG = 751.

Successivamente sono state scelte alcune categorie di impatto:

1. l'effetto serra,

36_ Il fabbisogno energetico degli edifici (asse delle ordinate) al variare della trasmittanza (asse delle ascisse), per i tre tipi edilizi, a Milano, Roma, Napoli e Palermo

37_ Impatti ambientali degli edifici (asse delle ordinate) al variare della trasmittanza (asse delle ascisse), per i tre tipi edilizi, a Palermo

36

37

2. l’acidificazione,
3. l’eutrofizzazione,
4. la formazione di smog fotochimica.

In ciascuna di esse è stata valutata l’entità degli impatti causati sia dalla produzione dell’isolante sia dall’uso del combustibile (gasolio e metano), al variare del tipo edilizio e dello spessore di isolante.

Il risultato è molto interessante perché dai grafici riassuntivi si può dedurre che isolare oltre un certo livello non è conveniente nei climi caldi. Infatti, considerando un periodo di dieci anni, l’impatto causato da un iperisolamento, o da un isolamento secondo le indicazioni del Passivhaus, a Napoli e a Palermo supera abbondantemente quello causato dal combustibile necessario per il riscaldamento, in particolare se si tratta di metano.

L’impostazione seguita quindi non punta alla scelta di un materiale che produce in assoluto basse emissioni, ma alla progettazione intelligente degli elementi di fabbrica in modo da ottenere un edificio che abbia un buon funzionamento termoigrometrico e il minore impatto ambientale possibile usando quel determinato prodotto.

1.5. ELEMENTI FONDAMENTALI PER L’ANALISI DELLA SOSTENIBILITÀ

Riassumendo si è visto che ci sono varie possibilità per impostare la progettazione e la valutazione di un edificio:

1. il primo modo di agire è quello, proposto dai modelli energetici e anche dalla normativa italiana, che ha come fulcro il rispetto di un valore massimo di fabbisogno energetico;
2. il secondo, applicato dai metodi a punteggio, consiste nello stilare una pagella ambientale di un edificio, secondo elementi di valutazione arbitrariamente scelti, cercando di comprendere tutti i punti fondamentali di un processo edilizio;
3. il terzo, proposto dai bilanci energetici (ecobilanci), si basa sull’analisi di tutti i danni ambientali che un processo edilizio può causare.

Tutti e tre i metodi visti hanno dei limiti e, in effetti, non riescono ad inquadrare la questione in modo completo. Il primo ha l’indubbio pregio di consentire una valutazione immediata: un edificio può rispettare o non rispettare un determinato limite massimo di consumi energetici. Quindi, se l’edificio appartiene ad una certa classe “Casa Clima”, o ha la certificazione energetica secondo il Dlgs 192/05, quando sarà in vigore, risponde a caratteristiche inequivocabili. Come si è già accennato concentrarsi solo sull’efficienza energetica senza conside-

rare altri aspetti fondamentali quali l'inquinamento prodotto dai materiali, può portare a risultati non soddisfacenti dal punto di vista ambientale.
Al contrario i metodi a punteggio cercano di considerare veramente tutti i requisiti ambientali di un edificio e non solamente, ad esempio è inclusa la disponibilità di mezzi di trasporto pubblici facilmente raggiungibili, ma il punteggio riassuntivo, di solito articolato in sette voci, non è di lettura immediata, in quanto ognuna di queste riassume i risultati delle categorie di requisiti.
Oltretutto, se consideriamo il Protocollo Itaca, al suo interno, non esiste una categoria specifica sull'efficienza energetica in cui si valuta il fabbisogno energetico dell'edificio, ma altre categorie in cui si valutano requisiti quali l'uso di materiali poco energivori, la trasmittanza, l'uso di fonti rinnovabili… Tutti aspetti importanti, ma che considerati senza una verifica del fabbisogno energetico non possono garantire una la riduzione dei consumi. Si è quindi cercato di integrare col Protocollo sintetico, dove si valuta il fabbisogno di energia primaria, unitamente ad altri requisiti già visti nel Protocollo completo, come l'uso di fonti rinnovabili per il riscaldamento o la produzione di rifiuti, ma non la trasmittanza. Insomma, i due strumenti in parte si integrano, in parte si sovrappongono rendendo insufficiente l'uso di uno solo, ma, per certi versi, superfluo l'uso di entrambi. Inoltre il Protocollo completo deve essere necessariamente adeguato alle nuove normative; un esempio lampante è la trasmittanza che è valutata in modo assolutamente non congruente con il Dlgs 192.
Si tratta di metodi interessanti che valutano la complessiva qualità di un edificio, e possono anche essere considerati una valida guida nella progettazione di un edificio, ma che necessiterebbero di un riordino e, al contrario dei modelli energetici, non riescono a dare una risposta immediata sull'efficienza energetica.
Infine i bilanci energetici, in particolare lo LCA, si interessano esclusivamente dei danni ambientali che il processo edilizio causa senza considerare la questione del risparmio energetico. Si tratta di metodi molto rigorosi, ma molto complicati da applicare a tutto l'edificio e comunque incompleti rispetto alla questione che si sta affrontando.
Traendo le conclusioni, con nessuno dei tre approcci si riesce a dare una valutazione completa sulla sostenibilità di un edificio, benché tutti consistano nello sviluppo di aspetti che è necessario considerare. In particolare il primo e il terzo sono fondamentali perché affrontano rispettivamente i consumi in fase di gestione e di produzione, che, si è già detto, sono i punti cardine di una progettazione sostenibile. Il secondo, pur essendo meno rigoroso, ha il pregio di affrontare la progettazione e la valutazione del progetto nei loro molteplici aspetti, considerando l'efficienza energetica come una parte importante di un edificio ben progettato.

Ciascuno di questi filoni di ricerca meriterebbe quindi un approfondimento associato all'applicazione a casi studio, in questa tesi si è però deciso di approfondire il discorso riguardante l'efficienza energetica analizzando quindi gli edifici seguendo il primo dei tre approcci. Questo argomento è, infatti, di grande interesse e attualità in quanto le normative nazionali sul risparmio energetico da un anno e mezzo sono in continua evoluzione e sono fonte di numerosi dibattiti.
Oltretutto, mentre la ricerca sull'efficienza energetica nei climi freddi ha ormai una lunga tradizione, invece quella riguardante i climi caldi è ancora agli inizi: il rischio che si corre è la solita importazione di modelli studiati per contesti differenti. I dubbi che sorgono sono molteplici, ci si chiede quale sia lo spessore adeguato di isolante per ridurre i consumi invernali e estivi, fino a che punto sia utile aumentarlo e ci siano ancora miglioramenti apprezzabili nel comportamento dell'edificio. Inoltre, poiché deve comunque essere il primo riferimento per i progettisti, ci si chiede se la legge imponga spessori di isolante eccessivi, o troppo ridotti. Nel capitolo 1 della tesi si è già detto che probabilmente la normativa richiede, per gli elementi di fabbrica, prestazioni eccessive, ma esiste tutta una corrente di pensiero che sostiene l'esatto contrario ritenendo che sia sempre meglio utilizzare le migliori pratiche (Best Practise) disponibili.
La soluzione migliore per trarre delle conclusioni attendibili è l'analisi energetica di casi studio supportata dal metodo LCA, che permette di capire quale sia l'effettiva riduzione di emissioni legata all'aumento di isolante e di scegliere tra differenti materiali, dalle prestazioni adeguate al caso, quello meno inquinante.

2. LA “CASA SERRA” A SAMUGHEO E UN EDIFICIO DI EDILIZIA ECONOMICA E POPOLARE A CAGLIARI IN VIA IS MIRRIONIS

I criteri illustrati nel capitolo 1 possono essere utilizzati per il recupero di due edifici riferibili a due diverse tradizioni costruttive:

1. la “Casa Serra” a Samugheo;
2. un edificio di edilizia economica e popolare localizzato a Cagliari nel quartiere di Is Mirrionis nella via omonima.

Si tratta di due esempi completamente differenti anche per la localizzazione, Samugheo appartiene alla zona climatica D mentre Cagliari alla C, e per il tipo edilizio. Il primo è un edificio tradizionale con muratura portante di pietra, il secondo un edificio con scheletro portante a vista e tamponature di laterizio faccia a vista.

L’adeguamento energetico comporta interventi sugli elementi di fabbrica e costruttivi adatti al tipo edilizio, considerando il fatto che la Casa Serra è stata già sottoposta ad un primo recupero.

Nelle diverse configurazioni elaborate è variabile la trasmittanza di alcuni elementi di fabbrica e, conseguentemente, il fabbisogno energetico dell’edificio. Lo scopo era quello di verificare che, soprattutto in un clima mite, non è necessario eccedere negli isolamenti, ma semplicemente utilizzarli in spessore adeguato in modo da ottenere un consumo energetico, sia invernale che estivo, contenuto (per il consumo invernale si è fatto riferimento a quelli previsti del Dlgs 192/05) senza causare un inquinamento eccessivo o provocare un aumento dei costi tale da scoraggiare gli interventi di recupero.

Parallelamente sono stati utilizzati i calcoli energetici per valutare se i metodi di verifica previsti dalla normativa portino alla progettazione di edifici in cui le prestazioni degli elementi di fabbrica siano veramente adeguate al caso specifico; in particolare: l’opportunità di permettere l’omissione dei calcoli globali sostituendoli con la sola verifica della trasmittanza degli elementi di fabbrica e dell’efficienza dell’impianto; la soluzione che si propone nella normativa per risolvere la questione dei “furti di calore”[55].

I ragionamenti sull’efficienza energetica e le conseguenti considerazioni sono stati integrati da valutazioni sugli impatti ambientali utilizzando i risultati ottenuti col metodo LCA in due modi differenti. Si è, infatti, in primo luogo, proceduto al confronto tra vari isolanti per poter scegliere il più adatto per i due edifici studiati usando come discriminanti l’inquinamento prodotto e le prestazioni. In secondo luogo è stato valutato il rapporto tra le emissioni in fase di produzione e distri-

buzione e quelle in fase di gestione per la casa Serra isolata con polistirene. In questo modo da un lato è stato possibile proporre alternative ai materiali più usati giustificandole con valutazioni oggettive, dall'altro è stato possibile valutare quanto effettivamente influisca sulle emissioni complessive l'aumento di spessore di un materiale inquinante.

38_ Pianta piano terra dello stato di fatto
39_ Sezione dello stato di fatto
40_ Pianta piano terra del progetto
41_ Pianta primo piano del progetto
42_ Pianta secondo piano del progetto
43_ Sezione del progetto

2.1. LA CASA SERRA

L'analisi della casa Serra a Samugheo, paese localizzato nella Provincia di Oristano e più precisamente nella Comunità Montana del Barigadu[56], si inserisce in un progetto di ricerca chiamato CO.M.B.AL.O.S. (Comunità Montana Barigadu Alto Oristanese per la Sostenibilità) vincitore di un Bando di Concorso indetto dalla Regione Sardegna per la diffusione a scala regionale delle tecniche di risparmio energetico.
Il programma, promosso dalla Comunità Montana, con capofila Ula Tirso, dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari[57] e dal Dipartimento di Ingegneria del territorio dell'Università degli Studi di Sassari, era articolato in tre punti:

- adeguamento energetico di un edificio esistente;
- modifica dei Regolamenti edilizi e delle Norme di Attuazione nei comuni della Comunità montana;
- monitoraggio automatico del comportamento energetico dell'edificio recuperato.

Tra tutti gli edifici disponibili si è scelto di intervenire sulla casa Serra perché era stata inserita nella rete "Agorà Multimediale" della comunità Montana del Barigadu e quindi era già stato elaborato un progetto di ristrutturazione, che prevede il

38

39

40 41 42 43

riuso dell’edificio come sala congressi, biblioteca e sala multimediale.

Poiché l’adeguamento energetico consisteva nella modifica del progetto elaborato precedentemente, si è inizialmente proceduto all’analisi dello stato di fatto e degli interventi previsti.

L’edificio era già stato sottoposto ad un precedente restauro della facciata, consistente nella rimozione dell’intonaco, per mettere in mostra la trachite di cui è fatta la muratura, nella sostituzione degli infissi con nuovi, di legno e con vetrocamera, e nell’applicazione di riquadrati con materiale lapideo intorno alle aperture. Il nuovo progetto prevede il mantenimento della chiusura verticale faccia a vista e, per rendere l’edificio idoneo alle nuove destinazioni d’uso, lo sventramento totale con una nuova scansione degli interpiano, lo spostamento della scala e l’organizzazione dei tre piani in open space.

La prima considerazione che si può fare è che la scelta di aver rimosso l’intonaco ha indubbiamente peggiorato il comportamento dell’edificio, infatti, la

44

45

46

trachite è una pietra molto porosa che ha una scarsa resistenza agli agenti atmosferici e tende ad assorbire l'umidità e l'acqua piovana, con conseguente aumento della trasmittanza e rischio di lesioni e distacco di materiale dovuti, in caso di gelate, al passaggio dell'acqua trattenuta tra i pori dallo stato liquido a quello solido.
Inoltre, ci si potrebbe chiedere se la nuova destinazione sia adeguata all'edificio, che è un esempio significativo per tipi edilizi e costruttivi della zona, e, di fatto, ne cambia tutte le caratteristiche fondamentali.
Comunque sia, si è proceduto all'analisi energetica, sia invernale che estiva, seguendo quanto previsto dal progetto e proponendo una serie di alternative in modo ottenere una configurazione adeguata al caso particolare.

2.1.1. L'analisi energetica invernale

L'analisi energetica è stata fatta considerando che l'aver scelto di lasciare la muratura faccia a vista vincola molto gli interventi in quanto non permette di applicare all'esterno un isolamento a cappotto. Sopperire con un isolamento all'interno causerebbe la formazione di condensa, fenomeno che sarebbe meglio evitare anche perché il materiale tende già naturalmente ad assorbire l'umidità, e inoltre non permetterebbe di sfruttare l'inerzia termica del muro e porterebbe

44_ Prospetto Est dello stato di fatto, non modificato nel progetto
45_ Immagine del prospetto est antecedente al primo intervento
46_ Immagine del prospetto est, stato di fatto
47_ Confronto tra il fabbisogno energetico invernale delle configurazioni proposte per casa Serra al variare delle trasmittanze degli elementi di fabbrica

	descrizione	trasmittanza elementi di fabbrica (W/m²K)				fabbisogno energetico invernale (kWh/m²a)
		muratura portante	chiusura orizzontale di base	chiusura orizzontale di copertura	infissi	
stato di fatto	- muratura portante non intonacata - copertura aerata non isolata - chiusura orizzontale di base con vespaio non isolato	2,6	3,002	1,56	3,05	128,4
ipotesi 1	- muratura portante intonacata - copertura aerata non isolata - chiusura orizzontale di base con vespaio non isolato	2,46	3,002	1,56	3,05	123,96
ipotesi 2	- muratura portante non intonacata - copertura aerata e isolata con 4 cm di polistirene - chiusura orizzontale di base a vespaio isolato con 3 cm di polistirene	2,6	0,805	0,55	3,05	103,14
ipotesi 3	- muratura portante intonacata - copertura aerata e isolata con 4 cm di polistirene - chiusura orizzontale di base a vespaio isolato con 3 cm di polistirene	2,46	0,805	0,55	3,05	98,71
ipotesi 4	- muratura portante non intonacata - copertura aerata e isolata con 10 cm di polistirene - chiusura orizzontale di base a vespaio isolato con 3 cm di polistirene	2,6	0,805	0,28	3,05	100,51
ipotesi 5	- muratura portante intonacata - copertura aerata e isolata con 10 cm di polistirene - chiusura orizzontale di base a vespaio isolato con 3 cm di polistirene	2,46	0,805	0,28	3,05	96,08
ipotesi 6	- muratura portante con cappotto (3 cm di polistirene) rivestito con 10 cm trachite - copertura aerata e isolata con 4 cm di polistirene - chiusura orizzontale di base a vespaio isolato con 3 cm di polistirene	0,84	0,805	0,55	3,05	52,97

47

ad una notevole riduzione della superficie utile disponibile perché sarebbe necessario rivestire l'isolamento, ad esempio, con una fascia di mattoni.
Se si rinuncia alla correzione del comportamento energetico della muratura non ha molto senso modificare gli altri elementi di fabbrica in modo da ottenere prestazioni eccessivamente elevate. Si è quindi deciso di mantenere gli infissi con vetrocamera esistenti, trasmittanza U=3,05 W/m^{2}K, di isolare la chiusura orizzontale di base con 3 cm di polistirene, trasmittanza U=0,805 W/m^{2}K, e di isolare la chiusura orizzontale di copertura con 4 cm di polistirene, trasmittanza U=0,55 W/m^{2}K.
Sono state cambiate le caratteristiche di alcuni elementi per fare il confronto tra il muro intonacato e non intonacato all'esterno, oppure tra la copertura isolata con 4 cm e 10 cm di polistirene. Infine è stato studiato un intervento per la chiusura verticale alternativo a quello effettuato nel primo restauro. Infatti, se l'obbiettivo era mettere in vista la bella trachite rossa locale si sarebbe potuto scegliere di non rimuovere l'intonaco ma di usarlo come base per isolare la chiusura verticale con un cappotto e poi rivestire l'isolante con uno strato da 10 cm di trachite o addirittura fare una parete ventilata con la trachite. In questo modo si sarebbe ottenuto lo stesso effetto da un punto di vista architettonico con una trasmittanza molto inferiore e una buona inerzia termica.
In totale sono state elaborate sette configurazioni, una che rappresenta lo stato di fatto e altre sei che rappresentano le varie alternative analizzate
Nella tabella (47) sono quindi messi a confronto il fabbisogno energetico invernale, calcolato secondo il Dlgs 192/05[58], in relazione al variare delle trasmittanze.
In realtà questo progetto, essendo stato concluso prima dell'entrata in vigore del decreto, 8 ottobre 2005, non avrebbe dovuto seguire la nuova normativa. Tuttavia, poiché lo schema del decreto era già consultabile, mentre l'analisi energetica era in elaborazione sono stati confrontati i risultati ottenuti con le nuove disposizioni. La normativa vigente, come si è già detto, fissa per gli edifici un fabbisogno energetico massimo e le trasmittanze massime per gli elementi di fabbrica in base alla localizzazione e ai dati geometrici dell'edificio:

- fattore di forma (S/V)=0,56;
- gradi giorno=1450 (zona D);
- fabbisogno energetico limite 57,4 kWh/m^{2}a.

Per quanto riguarda le trasmittanze, dalle tabelle (11), (12), (13) e (14), si può ricavare che nella zona considerata i valori massimi sono:

- per le chiusure verticali, 0,5 W/m^{2}K;
- per le chiusure orizzontali, 0,46 W/m^{2}K;
- per le chiusure vetrate comprese di infissi, 3,1 W/m^{2}K.

Osservando la tabella riassuntiva, prima di analizzare le varie configurazioni con

l'isolamento, si può notare, confrontando lo stato di fatto con l'ipotesi 1, come la semplice rimozione dell'intonaco abbia causato un peggioramento delle prestazioni di quasi 5 kWh/m^{2}a.
Considerando invece l'ipotesi 2 si può notare che isolare le chiusure orizzontali di base e di copertura porti un miglioramento di ben 25 kWh/m^{2}a, tuttavia non si raggiungono le prestazioni globali richieste dalla normativa. Un'osservazione molto semplice che si può fare in proposito è che, nell'ipotesi 2, le prestazioni degli elementi di fabbrica, essendo state scelte prima della diffusione dello schema di decreto, sono inferiori a quelle richieste dalla normativa.
Se però si passa alla configurazione 4 si può notare che l'isolamento della copertura è stato più che raddoppiato passando da 4 cm a 10 cm di spessore, e quindi da 0,55 W/m^{2}K a 0,28 W/m^{2}K di trasmittanza, eppure il fabbisogno globale si riduce di soli 3 kWh/m^{2}a. In sostanza avendo usato più del doppio del materiale sono stati più che raddoppiati i costi economici e i costi ambientali di produzione e si è ottenuto un beneficio in fase di gestione veramente ridotto, addirittura inferiore al peggioramento causato dalla rimozione dell'intonaco, che si era detto essere di 5 kWh/m^{2}a. Ovviamente lo stesso discorso si può fare confrontando le configurazioni 3 e 5 che cambiano rispetto alla 2 e alla 4 perché nel calcolo si è supposto che l'intonaco non fosse stato rimosso.
Nell'ipotesi 6 invece il problema è affrontato in modo diverso, si sono mantenute le prestazioni dell'ipotesi 2 e in più è stata sostituita la chiusura verticale con quella alternativa, illustrata precedentemente, isolata con 3 cm di polistirene e rivestita da uno strato di trachite, ottenendo una trasmittanza pari a 0,84 W/m^{2}K.
Si ha quindi una configurazione con prestazioni degli elementi di fabbrica non a norma, eppure il fabbisogno energetico invernale, 52,97 kWh/m^{2}a, è inferiore a quello massimo stabilito per legge, 57,4 kWh/m^{2}a.
In realtà, poiché, come si è già detto, i tipi di impianti a disposizione sono svariati, il fabbisogno di energia primaria a parità di dispersioni può variare notevolmente. Tutti i precedenti ragionamenti sono quindi stati effettuati considerando un impianto con rendimento globale pari a uno e quindi il fabbisogno energetico di energia primaria pari alle dispersioni.
Mentre la valutazione delle variazioni dell'efficienza energetica dell'edificio al variare delle configurazioni è meglio che sia valutata anche a prescindere dall'impianto, invece nel confronto con i valori di legge è opportuno calcolare anche l'energia primaria consumata.
E' quindi stato riportato il fabbisogno di energia primaria nel caso in cui si utilizzi una pompa di calore, con rendimento globale medio stagionale pari a 2,6, e nel caso in cui si utilizzi una caldaia a gas, con rendimento globale medio stagionale pari a 0,74.

	fabbisogno energetico invernale (kWh/m^{2}a)	fabbisogno energetico invernale energia primaria (kWh/m^{2}a)-normativa vigente		fabbisogno energetico invernale energia primaria (kWh/m^{2}a)-prEN 15315	
		pompa di calore	caldaia a gas	pompa di calore	caldaia a gas
stato di fatto	128,4	49,38	173,51	117,04	190,86
ipotesi 1	123,96	47,68	167,51	112,99	184,26
ipotesi 2	103,14	39,67	139,38	94,02	153,32
ipotesi 3	98,71	37,97	133,39	89,98	146,73
ipotesi 4	100,51	38,66	135,82	91,62	149,41
ipotesi 5	96,08	36,95	129,84	87,58	142,82
ipotesi 6	52,97	20,37	71,58	48,28	78,74

48

Si può notare che il primo impianto, essendo molto efficiente, ridurrebbe talmente tanto il fabbisogno di energia primaria da rendere a norma di legge anche lo stato di fatto, mentre con l'altro impianto nessuna ipotesi rispetterebbero la normativa.
Poiché per ogni kWh elettrico, sono consumati dal parco di centrali elettriche italiane, circa 2,37 kWh, sotto forma di energia primaria, si è effettuato un rapido calcolo in base al progetto di normativa europea prEN 15315, in modo da valutare che risultati si otterrebbero, nel caso analizzato, una volta entrata in vigore la normativa: il fabbisogno energetico di energia primaria è comunque leggermente inferiore rispetto al fabbisogno energetico lordo. Invece per quanto riguarda la caldaia il fabbisogno aumenta ancora ma di poco perché il gas è una fonte energetica particolarmente efficiente.
Per aver un buon funzionamento termoigrometrico dell'edificio la soluzione migliore non è tanto isolare in modo eccessivo, quanto progettare in modo intelligente l'intervento complessivo, sia per quanto riguarda le prestazioni degli elementi di fabbrica, sia per quanto riguarda quelle degli impianti. Purtroppo, come è stato già detto, la normativa, riguardo alla ristrutturazione di piccoli edifici, non prevede la verifica del fabbisogno globale, ma semplicemente impone, per gli elementi di fabbrica ristrutturati, le stesse prestazioni previste negli edifici nuovi. Ma l'intervento su un edificio di edilizia tradizionale, non si può ridurre unicamente a fissare alcuni valori senza considerare le caratteristiche specifiche degli elementi costruttivi e dei materiali. Ad esempio, se nell'edilizia tradizionale un certo tipo di pietra è sempre stata intonacata, è quantomeno avventato decidere di eliminare il rivestimento, per seguire la moda del momento, senza informarsi preventivamente sul comportamento del materiale.
Si rischia in questo modo di peggiorare il funzionamento dell'edificio e di compromettere possibili interventi riparatori perché sarebbero troppo costosi: chi spenderebbe per rifare l'intonaco, posare l'isolante e rivestire il tutto con lastre di trachi-

48_ Fabbisogno invernale di energia primaria della casa Serra nel caso di utilizzo di una pompa di calore e di una caldaia a gas

te, dopo aver fatto un costoso intervento di rimozione del vecchio intonaco?
Oltretutto, non potendo intervenire sulla chiusura verticale, che ha la massima superficie disperdente, gli interventi sugli altri elementi di fabbrica non hanno grandi effetti sul comportamento globale dell'edificio. Questo non vuol dire che l'obbligo di migliorare le prestazioni energetiche degli elementi su cui si deve intervenire, anche se si tratta di uno solo, non sia una buona politica, ma ci si potrebbe chiedere se abbia senso richiedere anche in questi casi prestazioni così elevate che magari potrebbero essere difficilmente raggiungibili in un recupero e potrebbero non dare i risultati sperati. Dall'esempio si è visto, infatti, che, a prescindere dallo spessore di isolante, l'edificio ha un comportamento energetico efficiente, secondo il Dlgs 192/05, solo quando si interviene sulla maggior parte dell'involucro e che iperisolare un solo elemento di fabbrica non porta miglioramenti apprezzabili.
Queste considerazioni fanno riflettere su quello che si è detto nel paragrafo sulla normativa riguardo alla possibilità di sostituire la verifica del fabbisogno energetico invernale con il rispetto delle prestazioni degli elementi di fabbrica e del rendimento dell'impianto di riscaldamento. Già da questo esempio, e si vedrà ancora meglio nel prossimo, si inizia a capire che scegliendo la seconda strada si ottenga un sovradimensionamento dell'isolante, che è meglio evitare come si è detto nel capitolo 1.
Per gli stessi motivi, sarebbe meglio incoraggiare, anche nei casi di ristrutturazione integrale dell'involucro in edifici con superficie inferiore ai 1000 m^2, il calcolo del fabbisogno energetico globale. Infatti, poiché si sta comunque intervenendo globalmente sull'involucro, di fatto non dovrebbe esistere alcuna differenza rispetto agli edifici di dimensioni maggiori.
Inoltre, si potrebbe addirittura pensare che, nel caso di un edificio interessato da un primo intervento sull'involucro con adeguamento energetico, una volta che successivamente si decidesse di terminare l'adeguamento dell'involucro, sarebbe meglio calcolare il fabbisogno energetico complessivo, piuttosto che applicare agli ultimi elementi ristrutturati le prestazioni richieste dalla normativa. In questo modo si avrebbe la garanzia di ottenere un edificio efficiente, senza eccedere inutilmente con l'isolante.
D'altra parte però è stato necessario affiancare il rispetto della trasmittanza degli elementi di fabbrica, maggiorata del 30%, alla verifica del fabbisogno di energia primaria. Infatti, la sola verifica del rispetto di quest'ultimo potrebbe portare negli edifici nuovi, e in generale in quelli in cui si effettua solo il calcolo globale, ad un eccessivo sottodimensionamento dell'isolamento in virtù dell'efficienza dell'impianto, mentre l'obbiettivo e quello di ridurre i consumi agendo sia sulle prestazioni dell'edificio che su quelle del generatore di calore.

2.1.2. L’analisi energetica estiva

Per quanto riguarda i consumi energetici estivi, altrettanto importanti per un clima come quello sardo, il calcolo è stato impostato in modo diverso secondo il metodo ASHRAE suddividendo i carichi estivi nei seguenti contributi:

1. carichi per irraggiamento attraverso superfici finestrate;
2. carichi per trasmissione attraverso superfici finestrate e chiusure opache;
3. carichi per apporti interni;
4. carichi per ventilazione.

Il calcolo è stato effettuato per un giorno del mese di Luglio, per ogni ora, dalle ore 8,00 alle ore 17,00, e per le stesse configurazioni viste nel riscaldamento, in base ai seguenti dati climatici:

- per le condizioni interne si considerano una temperatura pari a 26°C e un’umidità pari al 50%;
- per le condizioni esterne si considerano una temperatura pari a 30,1°C e un’umidità pari al 59,50%.

In realtà per il calcolo dei carichi per trasmissione non è sufficiente considerare la differenza tra queste due temperature in quanto la variazione delle temperature nell’arco della giornata non è trascurabile; inoltre non si può non considerare l’innalzamento della temperatura della parete esterna dovuto alla radiazione solare. Conseguentemente il Δt da considerare nel calcolo del flusso di calore è un Δt equivalente tabellato in base alla latitudine, all’ora e alla massa superficiale.

Nella tabella (49) è riportato, a titolo esemplificativo, il foglio principale del calcolo dello stato di fatto alle ore 8,00 con i flussi di calore parziali. Ovviamente si considera positivo il flusso di calore dall’esterno verso l’interno e negativo quello dall’interno verso l’esterno.

Osservando questa prima tabella si può notare la grande quantità di calore che l’ambiente interno cede al terreno, infatti, il terreno, già a basse profondità, ha una temperatura costante inferiore a quella interna. E’ evidente che si tratta di un comportamento particolarmente vantaggioso nel periodo estivo, che potrebbe però essere annullato da un isolamento di grande spessore nella chiusura orizzontale di base. Nelle configurazioni isolate la trasmittanza della chiusura di base passa da 3,002 W/m^{2}K a 0,805 W/m^{2}K e il calore trasmesso dal piano terra al terreno passa da 4359 W a 1169 W, cioè si riduce a circa un quarto. Ovviamente aumentando l’isolante fino a raggiungere i valori richiesti dalla normativa, il calore ceduto al terreno sarebbe sempre meno, mentre si è visto che con lo spessore scelto si può ottenere un buon comportamento invernale, nell’ipotesi 6, e un notevole risparmio nella gestione estiva.

Per analizzare le altre scelte progettuali si è preferito illustrare i risultati elaborati attraverso le 70 tabelle di calcolo in tabelle e grafici riassuntivi che permettano

49_ Carichi termici estivi dello stato di fatto della casa Serra alle ore 8 di un giorno di Luglio

condizionamento estivo		
locale	tutto l'edificio	
superficie condizionata (mq) =	121	per piano
altezza (m)=	10	
volume condizionato =	1210	

Località:	Samugheo
Latitudine:	39° 57' N
altezza sul livello del mare:	370m
temperatura terreno a 20m	14

Dati climatici	temperatura	umidità
condizioni interne	26	50%
condizioni esterne	30,1	59,50%
escursione termica	11	
mq a persona		
Differenza di temperatura con locali non climatizzati	3	
mese	Luglio	
ore	8	

pareti perimetrali			
Dati geometrici	altezza	lunghezza	superficie
parete Nord-Ovest	10	12,4	124,0
parete Nord-Est	10	9,8	98,0
parete Sud-Est	10	12,4	124,0
parete Sud-Ovest	10	9,8	98,0
pareti perim. Tot			444,0
tramezzi tot	10	8,6	86,0

carichi attraverso sup. finestrate (mese di Luglio)	esposizione	Radiazione solare vetro semplice (W/mq)	FCR 1	superficie mq	FCR 2	FCR 3	Carichi tot W
Radiazione solare vetro	NORD	9,5	1	0	0	0	0
Radiazione solare vetro	NORD/EST	14,3	1	0	0	0	0
Radiazione solare vetro	EST	17,74	1	0	0	0	0
Radiazione solare vetro	SUD/EST	14,9	1	12,89	0,61	0,59	69,1227539
Radiazione solare vetro	SUD	10,3	1	0	0	0	0
Radiazione solare vetro	SUD/OVEST	14,9	1	7,06	0,61	0,27	17,3254518
Radiazione solare vetro	OVEST	17,7	1	0	0	0	0
Radiazione solare vetro	NORD/OVEST	14,3	1	7,56	0,61	0,27	17,8053876
totale carichi per irraggiamento (W)							104,2535933

carichi per trasmissione e radiazione	esposizione	Trasmittanza (W/mqK)	superficie mq	superficie muro al netto dgli infissi mq	Δte-i	ΔT equivalente	Carichi tot W
Trasmissione vetro	NORD				4,1		0
Trasmissione muro	NORD					0	0
Trasmissione vetro	NORD/EST		0		4,1		0
Trasmissione muro	NORD/EST	2,6	98,0	98		-0,9	-229,32
Trasmissione vetro	EST	0	0		4,1		0
Trasmissione muro	EST	0	0	0		0	0
Trasmissione vetro	SUD/EST	3,05	12,89		4,1		161,18945
Trasmissione muro	SUD/EST	2,6	124,0	111,11		0,3	86,6658
Trasmissione vetro	SUD				4,1		0
Trasmissione muro	SUD						0
Trasmissione muro	SUD						0
Trasmissione vetro	SUD/OVEST	3,05	7,06		4,1		88,2853
Trasmissione muro	SUD/OVEST	2,6	98,0	90,94		0,3	70,9332
Trasmissione vetro	OVEST				4,1		0
Trasmissione muro	OVEST						0
Trasmissione vetro	NORD/OVEST	3,05	7,56		4,1		94,5378
Trasmissione muro	NORD/OVEST	2,6	124,0	116,44		-0,9	-272,4696
Trasmissione solaio contatto col terreno		3,002	121		-12		-4358,904
Trasmissione porte		1,49	6,2		4,1		37,8758
Trasmissione copertura		1,56	132			-2,89	-595,1088
Trasmissione piano pilotis		0	0		0		0
Trasmissione muro divisorio appart non condiz		0	0		0		0
Trasmissione solaio divisorio appart non condiz		0	0		0		0
totale carichi per trasmissione (W)							-4916,31505

apporti interni totali (norma Uni 10344 app.D prosp.XIII)	W/mq	superficie mq	W
Appartamento con sup<200mq	6,25	0	0
Appartamento con sup>200mq			450
Uffici	6	363	2178
Attività commerciali	8	0	0
totale apporti interni (W)			2178

carichi per ventilazione	Portata	calore specifico dell'aria in Wh/m³°C	Δte-i	Carichi tot W
sala conferenze	482,92124	0,33	-0,2	-31,87280184
biblioteca	466,24172	0,33	-0,2	-30,77195352
sala multimediale	371,346768	0,33	-0,2	-24,50888669
bagno	23,09472	0,33	-0,9	-6,85913184
totale carichi per ventilazione (W)				-94,01277389

Qv=P x O,33 (tj - te) [W] dove:

P= portata dell'aria di infiltrazione (naturale o artificiale in m³/h)

0,33= calore specifico dell'aria in Wh/m³°C (supponendo la densità dell'aria= 1,2 kg/m3)

ti= temperatura interna in °C

te= temperatura esterna in °C.

totale carichi termici estivi (W)	-2728,074231

49

un rapido confronto tra i risultati ottenuti.

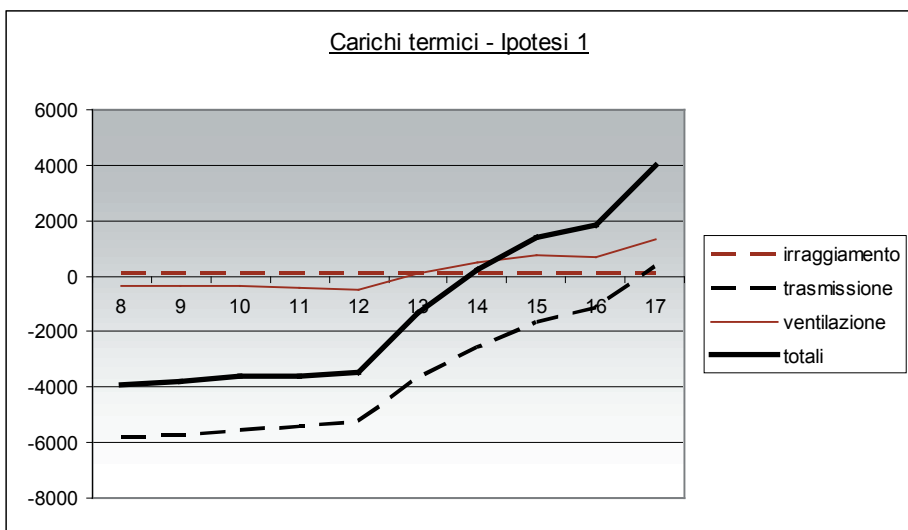
L'andamento dei grafici è ovviamente influenzato dalla forma, quasi quadrata, dall'orientamento dell'edificio, leggermente ruotato rispetto l'asse Nord-Sud, e

Stato di fatto	carichi termici (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	104,25	115,18	117,91	109,74	116,74	109,19	100,69	109,67	111,67	106,95
trasmissione	-4916,32	-4836,01	-4615,67	-4619,93	-4515,05	-2584,74	-1204,43	-197,05	140,45	680,44
ventilazione	-94,01	-94,01	-94,01	-181,17	-268,32	490,01	1043,47	1313,31	1203,25	1224,68
carichi interni	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178
totali	-2728,08	-2636,84	-2413,77	-2513,36	-2488,63	192,46	2117,73	3403,93	3633,37	4190,07

50

51

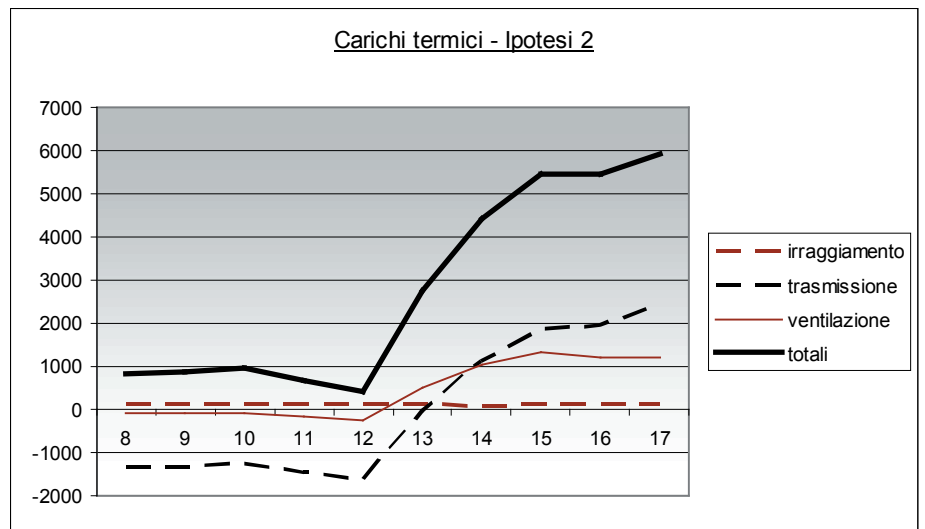
Ipotesi 1	carichi termici (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	104,25	115,18	117,91	109,74	116,74	109,19	100,69	109,67	111,67	106,95
trasmissione	-5810,65	-5730,34	-5510,01	-5432,68	-5241,24	-3688,75	-2578,99	-1620,34	-1139,09	354,94
ventilazione	-359,81	-359,81	-359,81	-428,08	-494,9	89,44	515,77	758,48	713,77	1361,69
carichi interni	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178
totali	-3888,21	-3796,97	-3573,91	-3573,02	-3441,4	-1312,12	215,47	1425,81	1864,35	4001,58

52

53

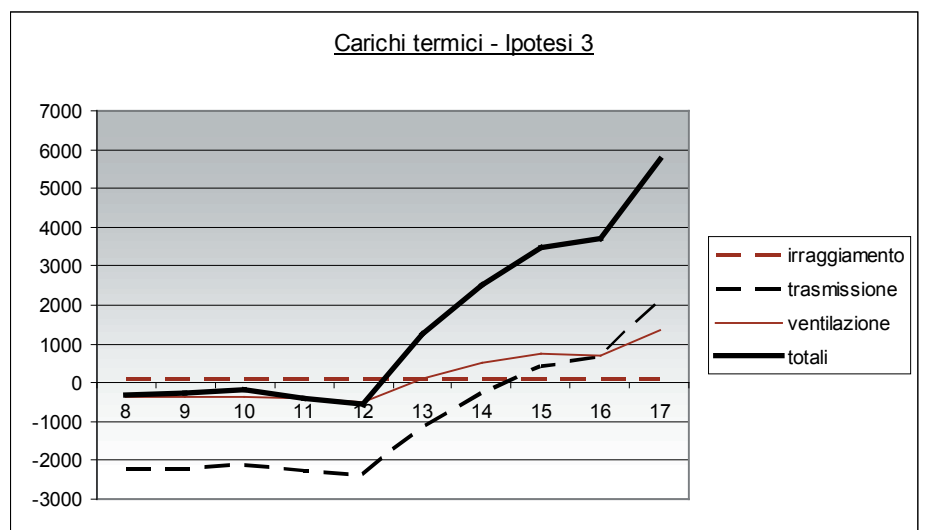
50, 52, 54, 56_ Tabelle riassuntive dell'andamento dei carichi termici estivi della Casa Serra dalle ore 8 alle ore 17 dello stato stato di fatto e delle ipotesi 1-2-3

51, 53, 55, 57_ Grafici riassuntivi dell'andamento dei carichi termici estivi della Casa Serra dalle ore 8 alle ore 17 dello stato stato di fatto e delle ipotesi 1-2-3

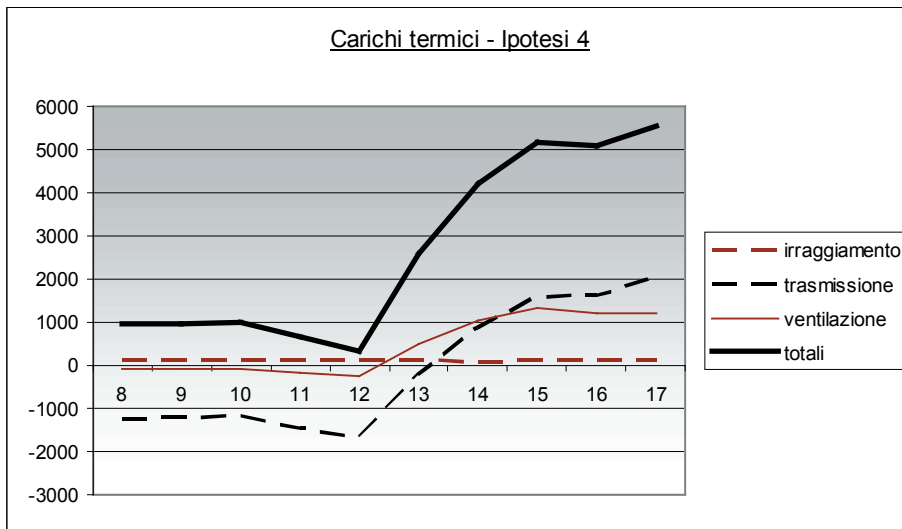
Ipotesi 2	carichi termici (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	104,25	115,18	117,91	109,74	116,74	109,19	100,69	109,67	111,67	106,95
trasmissione	-1340,98	-1312,66	-1234,98	-1440,55	-1607,65	-23,96	1108,37	1867,77	1971,96	2415,96
ventilazione	-94,01	-94,01	-94,01	-181,17	-268,32	490,01	1043,47	1313,31	1203,25	1224,68
carichi interni	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178
totali	847,26	886,51	966,92	666,02	418,77	2753,24	4430,53	5468,75	5464,88	5925,59

54

55

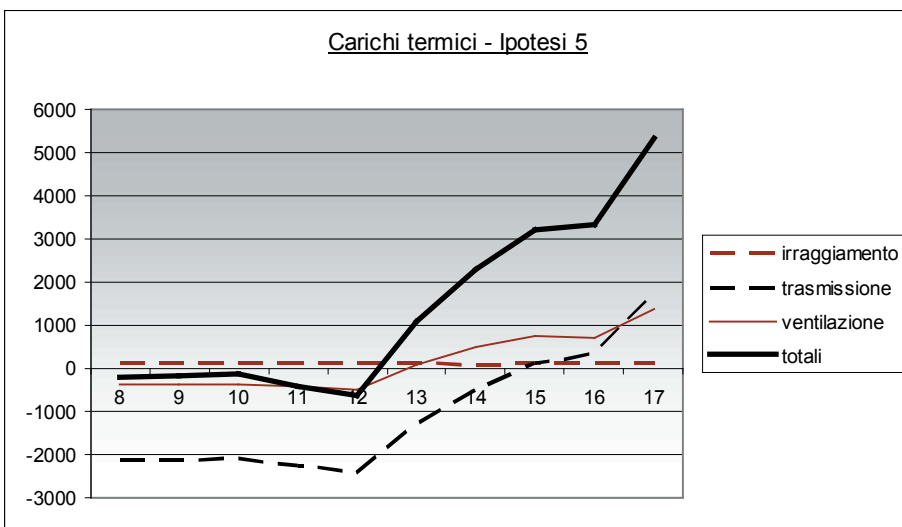
Ipotesi 3	carichi termici (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	104,25	115,18	117,91	109,74	116,74	109,19	100,69	109,67	111,67	106,95
trasmissione	-2235,31	-2207	-2129,32	-2253,3	-2333,84	-1127,97	-266,19	444,48	692,42	2090,46
ventilazione	-359,81	-359,81	-359,81	-428,08	-494,9	89,44	515,77	758,48	713,77	1361,69
carichi interni	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178
totali	-312,87	-273,63	-193,22	-393,64	-534	1248,66	2528,27	3490,63	3695,86	5737,1

56

57

Ipotesi 4	carichi termici (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	104,25	115,18	117,91	109,74	116,74	109,19	100,69	109,67	111,67	106,95
trasmissione	-1237,98	-1223,56	-1184,02	-1443,4	-1683,2	-192,19	873,86	1566,97	1608,79	2027,13
ventilazione	-94,01	-94,01	-94,01	-181,17	-268,32	490,01	1043,47	1313,31	1203,25	1224,68
carichi interni	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178
totali	950,26	975,61	1017,88	663,17	343,22	2585,01	4196,02	5167,95	5101,71	5536,76

58

59

Ipotesi 5	carichi termici (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	104,25	115,18	117,91	109,74	116,74	109,19	100,69	109,67	111,67	106,95
trasmissione	-2132,31	-2117,9	-2078,35	-2256,15	-2409,4	-1296,19	-500,7	143,68	329,25	1701,63
ventilazione	-359,81	-359,81	-359,81	-428,08	-494,9	89,44	515,77	758,48	713,77	1361,69
carichi interni	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178
totali	-209,87	-184,53	-142,25	-396,49	-609,56	1080,44	2293,76	3189,83	3332,69	5348,27

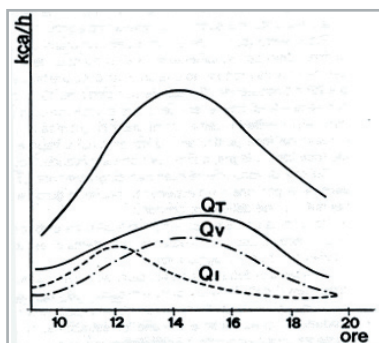
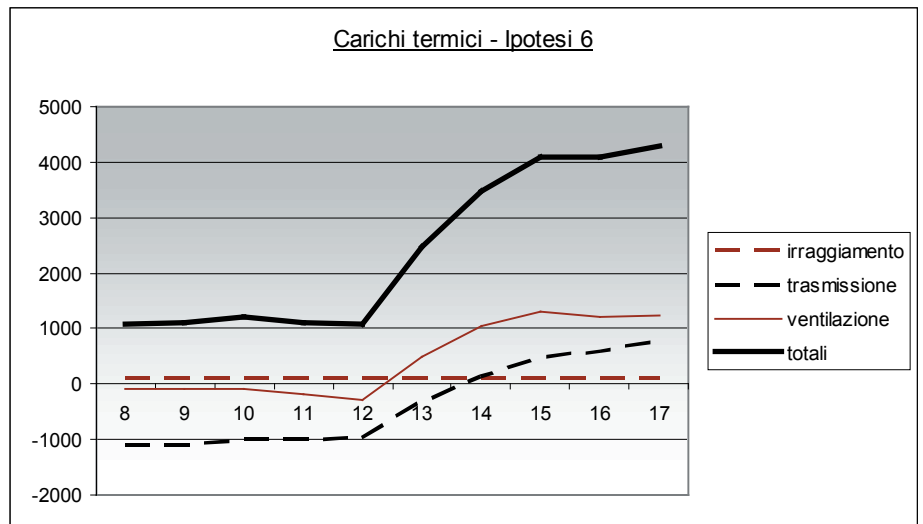
60

61

Ipotesi 6	carichi termici (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	104,25	115,18	117,91	109,74	116,74	109,19	100,69	109,67	111,67	106,95
trasmissione	-1107,99	-1079,67	-1001,99	-994,2	-947,93	-308,5	148,74	485,49	605,16	783,99
ventilazione	-94,01	-94,01	-94,01	-181,17	-268,32	490,01	1043,47	1313,31	1203,25	1224,68
carichi interni	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178
totali	1080,25	1119,5	1199,91	1112,37	1078,49	2468,7	3470,9	4086,47	4098,08	4293,62

62

58, 60, 62_ Tabelle riassuntive dell'andamento dei carichi termici estivi della Casa Serra dalle ore 8 alle ore 17 delle ipotesi 4-5-6
59, 61, 63_ Grafici riassuntivi dell'andamento dei carichi termici estivi della Casa Serra dalle ore 8 alle ore 17 delle ipotesi 4-5-6
64_ Grafico rappresentante l'andamento tipico dei carichi termici estivi di un edificio prevalentemente esposto a Sud
65_ Confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione della Casa Serra dalle ore 8 alle ore 17 dello stato stato di fatto e quello dell'ipotesi 1

63

64

dalla collocazione delle aperture finestrate: solamente la parete Nord-Est è priva di finestre. La forma quadrata porta ad avere grandi pareti esposte ad ovest ed è questa la causa del forte surriscaldamento pomeridiano. Per quanto riguarda la luce solare, questa illumina naturalmente l'edificio per tutta la giornata, attraverso le pareti Sud-Est, Sud-Ovest e Nord-Ovest e, in effetti, l'irraggiamento è pressoché costante dalle 8,00 alle 17,00. Per tutti questi motivi i grafici si discostano notevolmente da quello che ci si aspetterebbe per un edificio progettato secondo le regole della "bio-edilizia": prevalentemente esposto a Sud, con fronti molto stretti a Est e a Ovest, e fornito delle apposite schermature.

Per quanto riguarda la scelta di rimuovere l'intonaco, dal confronto tra lo stato di fatto e l'ipotesi 1, emerge subito che non ha effetti positivi, sia perché causa un aumento della trasmittanza della chiusura verticale da 2,46 W/m^{2}K a 2,60 W/m^{2}K, sia perché una superficie scura raggiunge temperature molto più elevate di una superficie chiara e questo influenza il Δt equivalente utilizzato nel calcolo dei flussi di calore.

Confrontando poi solamente i grafici delle trasmittanze si può notare un altro fatto apparentemente diverso da quello che ci si potrebbe aspettare. Infatti, i ca-

carichi termici per trasmissione(W)										
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Stato di fatto	-4916,32	-4836,01	-4615,67	-4619,93	-4515,05	-2584,74	-1204,43	-197,05	140,45	680,44
Ipotesi 1	-5810,65	-5730,34	-5510,01	-5432,68	-5241,24	-3688,75	-2578,99	-1620,34	-1139,09	354,94

65

66

66_ *Grafico rappresentante il confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione della Casa Serra (dalle ore 8 alle ore 17) dello stato stato di fatto e l'andamento di quelli dell'ipotesi 1*

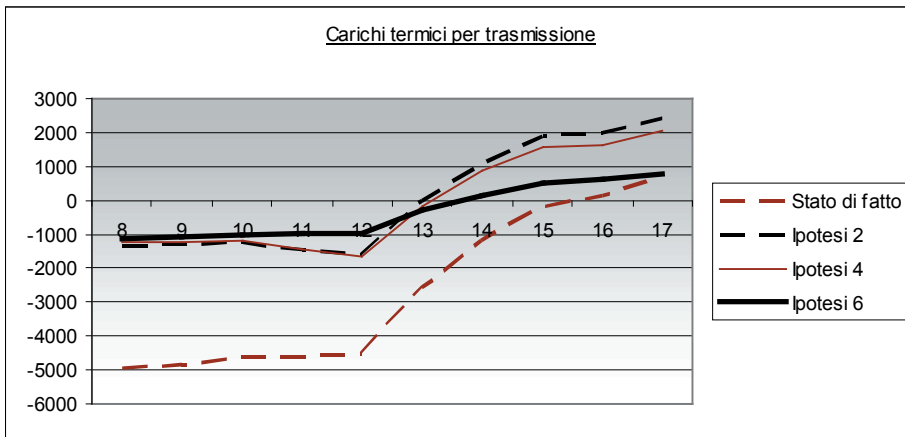
67_ *Confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione della Casa Serra (dalle ore 8 alle ore 17) dello stato stato di fatto e l'andamento di quelli delle ipotesi 2-4-6*

68_ *Grafico rappresentante il confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione della Casa Serra (dalle ore 8 alle ore 17) dello stato stato di fatto e l'andamento di quelli delle ipotesi 2-4-6*

richi termici per trasmissione, nello stato di fatto, risultano essere molto inferiori rispetto alle configurazioni isolate riportate, ipotesi 2-4-6[59].

Questo accade perché la chiusura orizzontale di base non è isolata e quindi trasmette molto più calore al terreno rispetto alle altre configurazioni, soprattutto

carichi termici per trasmissione(W)										
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Stato di fatto	-4916,32	-4836,01	-4615,67	-4619,93	-4515,05	-2584,74	-1204,43	-197,05	140,45	680,44
Ipotesi 2	-1340,98	-1312,66	-1234,98	-1440,55	-1607,65	-23,96	1108,37	1867,77	1971,96	2415,96
Ipotesi 4	-1237,98	-1223,56	-1184,02	-1443,4	-1683,2	-192,19	873,86	1566,97	1608,79	2027,13
Ipotesi 6	-1107,99	-1079,67	-1001,99	-994,2	-947,93	-308,5	148,74	485,49	605,16	783,99

67

68

se si considera il fabbisogno energetico durante la mattina. A partire dalle ore 13,00, infatti, la differenza si riduce notevolmente, in quanto, mentre gli scambi di calore tra ambiente interno e terreno sono costanti, invece quelli attraverso la chiusura verticale e la copertura aumentano particolarmente durante il pomeriggio, a causa della conformazione e dell'orientamento dell'edificio. Di conseguenza la differenza di fabbisogno energetico è compensata dalle grandi dispersioni che si hanno nello stato di fatto attraverso le chiusure verticali e la copertura. In particolare, si può notare che, l'ipotesi 6, poiché prevede anche l'isolamento della muratura, ha il pregio di ridurre il flusso di calore pomeridiano

sulle pareti Sud-Ovest e Nord-Ovest e, infatti, dalle ore 17,00 è più vantaggiosa dello stato di fatto.

Queste considerazioni potrebbero suggerire di studiare una nuova configurazione in cui si isolano tutti gli elementi di fabbrica escluso quello a contatto col terreno, in modo da ottenere un edificio particolarmente efficiente nella stagione estiva. Tale soluzione non può essere applicata perché in un clima temperato come quello sardo bisogna considerare sia il problema del raffrescamento che quello del riscaldamento. Una chiusura di base molto disperdente sarebbe indubbiamente vantaggiosa per l'estate, ma aumenterebbe notevolmente il fabbisogno energetico invernale, è quindi preferibile un isolamento non eccessivo che garantisca un buon funzionamento dell'edificio in entrambi i casi.

Poiché la trasmissione di calore attraverso il terreno influenza in modo non trascurabile i risultati, per valutare il livello di isolamento negli altri elementi di fabbrica si è deciso di elaborare un grafico in cui siano esclusi i carichi dovuti alla chiusura di base.

Considerando solamente i carichi per trasmissione attraverso la chiusura orizzontale e la copertura l'andamento del grafico cambia completamente. Nella prima metà della mattinata, poiché la temperatura dell'aria esterna non è ancora molto elevata e inoltre le pareti a Ovest non sono ancora state investite dalla radiazione solare diretta, i carichi termici sono bassi e non si apprezza la variazione di isolante tra le varie configurazioni.

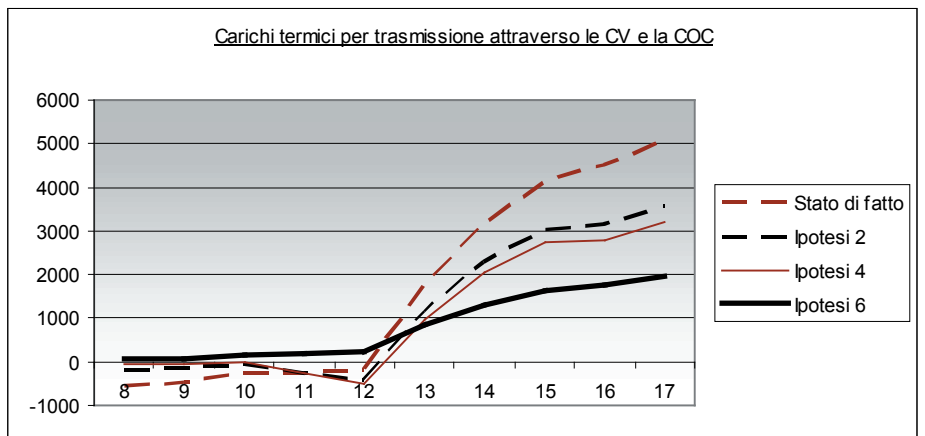
Con l'aumentare della temperatura esterna e del numero di ore in cui gli elementi di fabbrica sono stati investiti dalla radiazione solare, i carichi termici cui

carichi termici per trasmissione attraverso le chiusure verticali e la chiusura di copertura (W)										
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Stato di fatto	-557,416	-477,106	-256,766	-261,026	-156,146	1774,164	3154,474	4161,854	4499,354	5039,344
Ipotesi 2	-172,12	-143,8	-66,12	-271,69	-438,79	1144,9	2277,23	3036,63	3140,82	3584,82
Ipotesi 4	-69,12	-54,7	-15,16	-274,54	-514,34	976,67	2042,72	2735,83	2777,65	3195,99
Ipotesi 6	60,87	89,19	166,87	174,66	220,93	860,36	1317,6	1654,35	1774,02	1952,85

69

70

69_ Confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione, attraverso le CV e la COC, della Casa Serra (dalle ore 8 alle ore 17) dello stato stato di fatto e l'andamento di quelli delle ipotesi 2-4-6

70_ Grafico rappresentante il confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione, attraverso le CV e la COC, della Casa Serra (dalle ore 8 alle ore 17) dello stato stato di fatto e l'andamento di quelli delle ipotesi 2-4-6

è sottoposto un edificio non isolato diventano molto superiori rispetto a quelli di un edificio isolato. E' necessario poi decidere quale sia la configurazione più vantaggiosa tra quelle isolate.
In primo luogo l'attenzione è stata concentrata sulla copertura per cui sono state proposte tre configurazioni:

1. nessun isolamento e trasmittanza 1,56 W/m^{2}K, nello stato di fatto;
2. 4 cm di isolante e trasmittanza 0,55 W/m^{2}K, nelle ipotesi 2 e 6;
3. 10 cm di isolante e trasmittanza 0,28 W/m^{2}K, nell'ipotesi 4.

Poiché la chiusura di base è stata esclusa dal ragionamento, la differenza tra lo stato di fatto, la configurazioni 2 e la configurazione 4, consiste unicamente nella quantità di isolante in copertura, il confronto tra queste tre configurazioni può essere quindi molto interessante.
Alle ore 17,00 i carichi termici per trasmissione sono:

- 5039 W, nello stato di fatto;
- 3584 W, nell'ipotesi 2;
- 3196 W, nell'ipotesi 4.

Passando quindi dall'assenza di isolamento a un isolamento di 4 cm il fabbisogno energetico si riduce di 1455 W, cioè di circa il 28%, mentre passando dall'assenza di isolamento a un isolamento di 10 cm si ha una riduzione di 1843 W, cioè di circa il 36%. Utilizzando un isolante con uno spessore più che doppio, si è ottenuto un risparmio di neanche 400 W, ovvero, come già visto per il riscaldamento, un risparmio dell'ordine di quello che si sarebbe ottenuto mantenendo l'intonaco.
La configurazione più vantaggiosa, anche in questo caso, è l'ipotesi 6, in cui, senza usare spessori eccessivi di isolante, si raggiunge una riduzione di 3000 W.
Si è quindi visto che i risultati ottenuti analizzando il comportamento estivo di un edificio sono analoghi a quelli ottenuti analizzando il comportamento invernale, la soluzione migliore non è, infatti, quella in cui si usa un isolamento eccessivo per il singolo elemento di fabbrica, ma piuttosto quella in cui si studia in modo completo tutta la progettazione dell'edificio considerando insieme aspetti architettonici ed energetici.

71

2.2. UN EDIFICIO DI EDILIZIA ECONOMICA E POPOLARE

L'edificio di edilizia economica e popolare, localizzato a Cagliari in via Is Mirrionis, nel quartiere omonimo, è particolarmente interessante perché è stato costruito, negli anni 60, secondo un tipo edilizio molto diffuso nel dopoguerra in Italia, che segue i criteri della "sincerità costruttiva".

E' un fabbricato a pianta cruciforme, che si sviluppa su sette piani, più pilotis, con copertura a falde, separata dal settimo piano da un sottotetto, scheletro portante a vista e tamponatura di muratura faccia a vista, costituita da un doppio strato di elementi di laterizio con interposta una camera d'aria, altrimenti detta muratura a cassetta. Si tratta di uno di quei famigerati edifici costruiti prima che fosse emanata la 373/76 e quindi privi di qualsiasi accorgimento per il contenimento dei consumi.

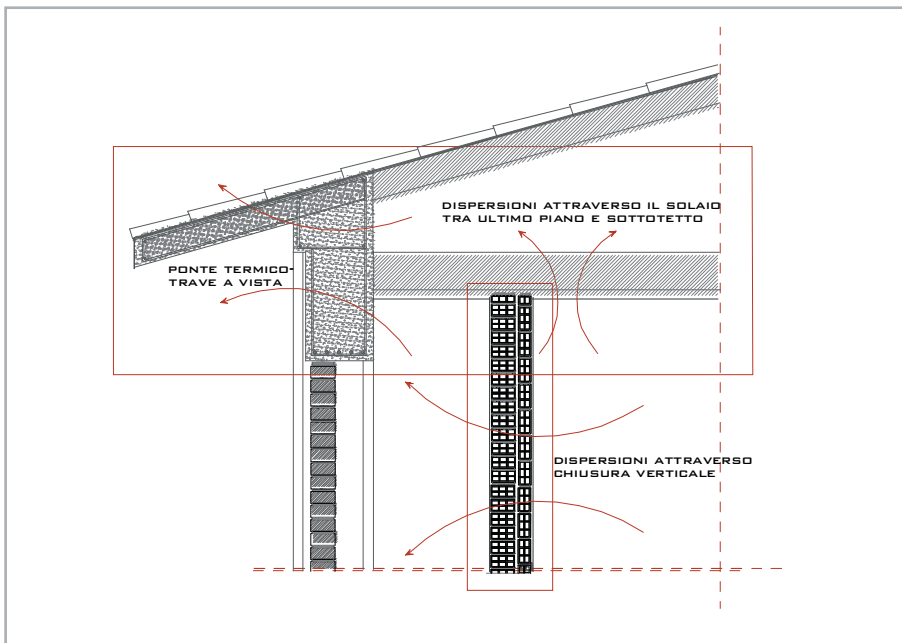
72

Infatti, l'orientamento e la pianta, sia dell'intero fabbricato, sia dei singoli appartamenti, sono studiati solo con l'obbiettivo di ottenere il maggior numero di alloggi, e non in base al benessere degli abitanti e allo sfruttamento ottimale della radiazione solare per l'illuminazione naturale e il riscaldamento: ad esempio l'alloggio C è esposto unicamente a Nord ed è privo di ventilazione traversale, mentre l'alloggio A, dotato di un'ampia parete, con aperture finestrate, esposta a Sud, ha su questo lato tutti i locali di servizio ed il soggiorno a Nord. Lo stesso

71_ Vista edificio
72_ Pianta piano tipo

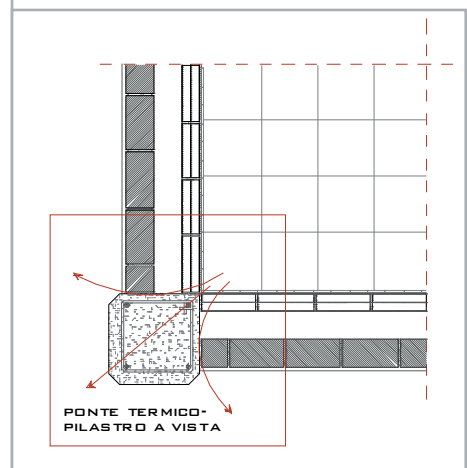
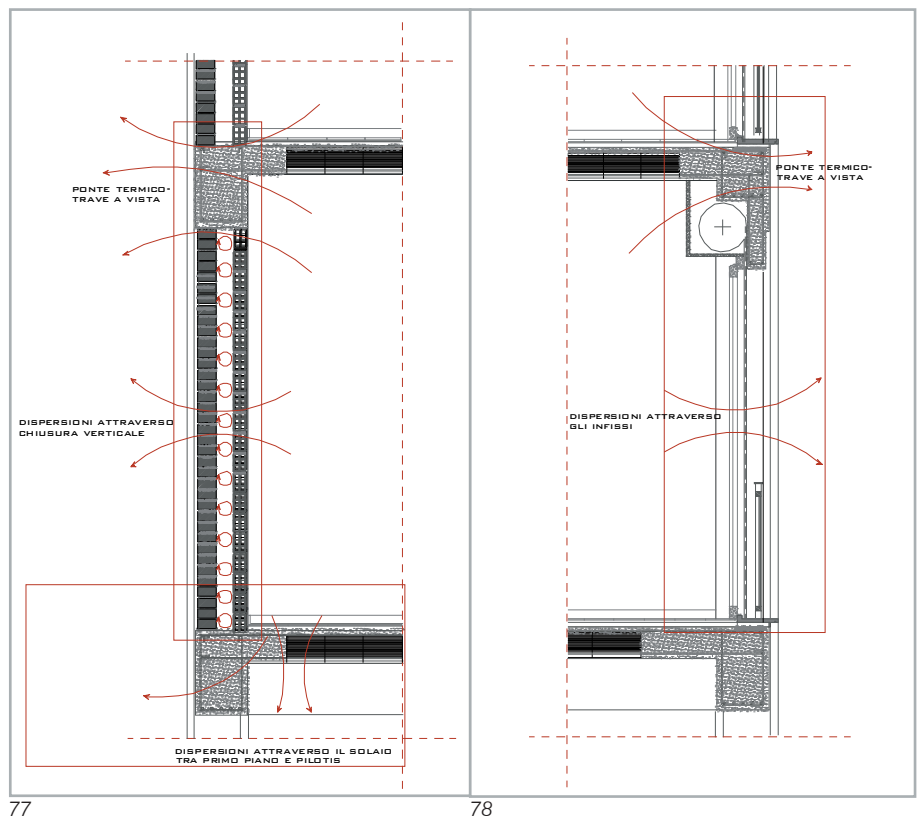
73 74

discorso vale se si considera il comportamento estivo, gli appartamenti B ed E hanno aperture finestrate unicamente a Est e Ovest senza alcuna attenzione alle schermature e alla disposizione degli ambienti.
Anche gli elementi di fabbrica e costruttivi sono stati progettati senza alcuna attenzione per le dispersioni termiche, negli elementi opachi non è stato utilizzato alcun genere di isolante, gli infissi sono di tipo tradizionale a vetro singolo e lo scheletro portante a vista è causa di innumerevoli ponti termici. Inoltre le chiusure verticali hanno una camera d'aria che varia a seconda della localizzazione:

- nelle tamponature in corrispondenza della piccola loggia, posta davanti alla cucina di ogni alloggio, è di soli 2 cm e quindi al suo interno non si generano moti convettivi;
- nel resto dell'edificio, invece, è di ben 12 cm, per cui al suo interno si innescano moti convettivi che sono la causa di un notevole raffreddamento della parete.

75

73_ Sezione A-A
74_ Sezione B-B
75, 76, 77, 78_ Individuazione degli elemanti di fabbrica e costruttivi in cui è necessario intervenire

76

77 *78*

L'edificio quindi necessità di interventi su differenti elementi di fabbrica e costruttivi:

1. isolamento delle chiusure verticali;
2. isolamento della chiusura orizzontale tra il piano pilotis e il primo piano;
3. isolamento del solaio tra il settimo piano e il sottotetto;
4. sostituzione degli infissi.

Come nell'altro esempio, nell'analisi energetica sia invernale che estiva sono quindi state studiate diverse configurazioni di isolamento in modo da trovare quella ottimale.

2.2.1. Gli elementi di fabbrica e costruttivi

L'analisi energetica è stata preceduta dallo studio di quattro configurazioni isolate nelle quali l'unica variabile sono le prestazioni della chiusura verticale e la possibilità di rivestire i ponti termici con una lastra di polistirene. Le prestazioni energetiche della chiusura verticale della loggia, della chiusura orizzontale di base, della chiusura orizzontale sopra l'ultimo piano e degli infissi sono le stesse per tutte le configurazioni e rispettano i valori massimi previsti dal Dlgs 192/05.
Cagliari, avendo 990 GG, appartiene alla zona climatica C, conseguentemente gli elementi di fabbrica devono rispettare le seguenti prestazioni:

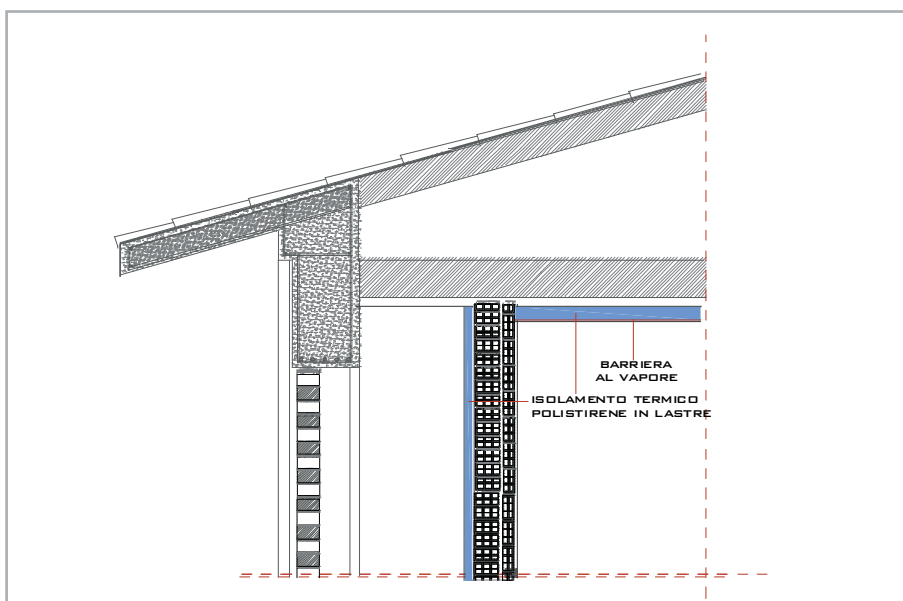
- trasmittanza delle chiusure verticali, 0,57 W/m^{2}K;
- trasmittanza delle chiusure orizzontali, 0,55 W/m^{2}K;
- trasmittanza delle chiusure vetrate comprese di infissi, 3,3 W/m^{2}K.

Per raggiungere le prestazioni richieste è stato quindi necessario prevedere, per quanto riguarda la chiusura orizzontale tra il settimo piano e il sottotetto, un isolamento di 6 cm di polistirene. Questo deve essere applicato all'intradosso del solaio, riducendo di pochi centimetri l'interpiano di 2,9 m, poiché l'altezza ridotta del sottotetto rende impossibile l'applicazione all'estradosso. E' quindi necessario introdurre prima dell'isolante una barriera al vapore per evitare la condensa che, secondo i risultati ottenuti col metodo di Glaser, altrimenti si formerebbe.

Invece, per la chiusura verticale della loggia, che è l'unica parte delle tamponature rifinita con l'intonaco, è sufficiente un cappotto di 3 cm dello stesso materiale.

Infine il solaio tra il primo piano e il pilotis sarà isolato con un cappotto di 5 cm di polistirene e gli infissi saranno sostituiti con finestre a doppio vetro e a taglio termico.

La questione si complica quando si passa alla scelta dell'intervento per l'adeguamento energetico della maggior parte della chiusura verticale, costituita dalla muratura faccia a vista con intercapedine da 12 cm, e dei ponti termici; infatti, non sono sufficienti le sole considerazioni sull'efficienza energetica, ma anche quelle tipologiche e costruttive.

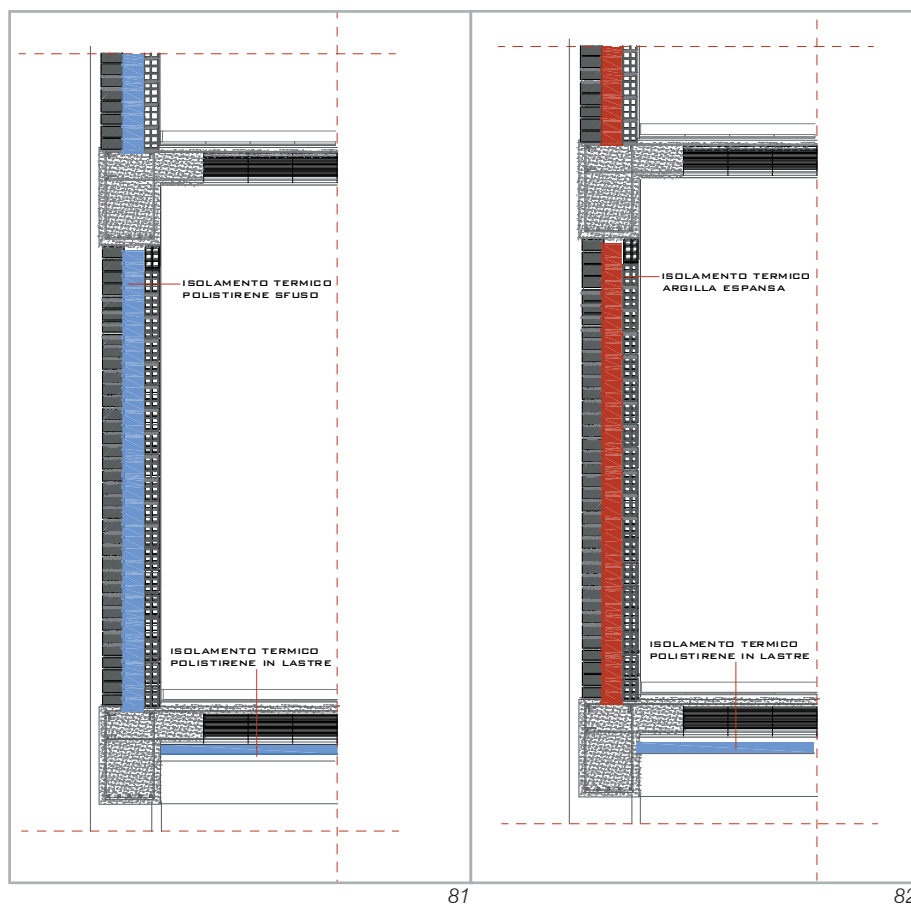
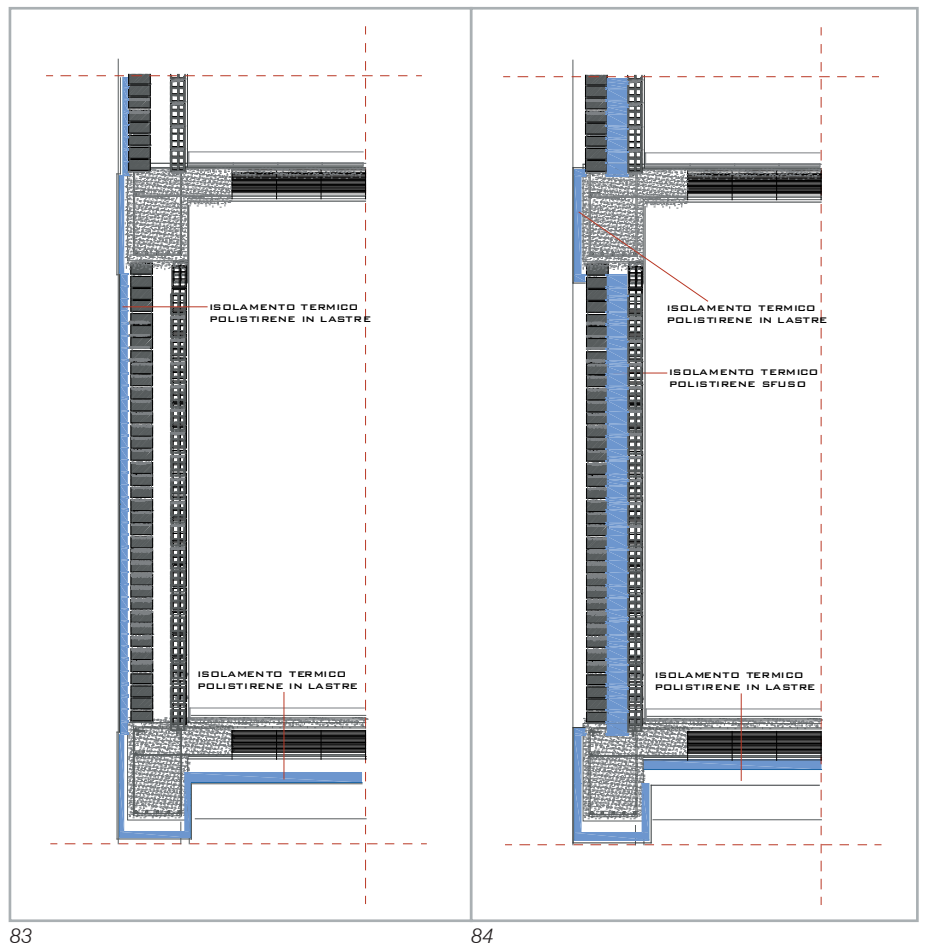
In primo luogo sono state distinte, per quanto riguarda la tamponatura, tre configurazioni in base alla trasmittanza, una a norma di legge (ipotesi 3), una migliore (ipotesi 1) e una peggiore (ipotesi 2), ed è stata poi aggiunta un'ulteriore configurazione (ipotesi 4) aggiungendo la correzione dei ponti termici all'ipotesi 1. L'obiettivo è, infatti, quello di valutare in che modo il fabbisogno energetico dell'edificio varia al variare dell'isolamento termico di un elemento di fabbrica specifico e quanto sia influente la correzione dei ponti termici.

79

79_ Modifiche proposte per l'adeguamento energetico della chiusura orizzontale tra settimo piano e sottotetto e della chiusura verticale della loggia

80_ Prestazioni degli elementi di fabbrica e costruttivi nelle configurazioni analizzate

Configurazioni		trasmittanza elementi di fabbrica (W/m^{2}K)				
	descrizione	chiusura verticale	chiusura verticale loggia	chiusura orizzontale sopra pilotis	chiusura orizzontale sopra ultimo piano	infissi
stato di fatto	- chiusura verticale con intercapedine vuota; nessun isolamento - chiusura verticale loggia non isolata - chiusura orizzontale pilotis non isolata - chiusura orizzontale sopra ultimo piano non isolata - infissi tradizionali	1,497	1,107	1,648	2,396	5,917
ipotesi 1	- chiusura verticale con intercapedine riempita da 12 cm di polistirene - chiusura verticale loggia isolata con cappotto (3 cm di polistirene) - chiusura orizzontale pilotis isolata con cappotto (5 cm di polistirene) - chiusura orizzontale sopra ultimo piano isolata (6 cm di polistirene) - infissi con vetrocamera	0,358	0,506	0,531	0,525	3,3
ipotesi 2	- chiusura verticale con intercapedine vuota e cappotto (3 cm di polistirene) che riveste anche i ponti termici - chiusura verticale loggia isolata con cappotto (3 cm di polistirene) - chiusura orizzontale pilotis isolata con cappotto (5 cm di polistirene) - chiusura orizzontale sopra ultimo piano isolata (6 cm di polistirene) - infissi con vetrocamera	0,694	0,506	0,531	0,525	3,3
ipotesi 3	- chiusura verticale con intercapedine riempita da 12 cm di argilla espansa - chiusura verticale loggia isolata con cappotto (3 cm di polistirene) - chiusura orizzontale pilotis isolata con cappotto (5 cm di polistirene) - chiusura orizzontale sopra ultimo piano isolata (6 cm di polistirene) - infissi con vetrocamera	0,532	0,506	0,531	0,525	3,3
ipotesi 4	- chiusura verticale con intercapedine riempita da 12 cm di polistirene e ponti termici con cappotto (4 cm di polistirene) - chiusura verticale loggia isolata con cappotto (3 cm di polistirene) - chiusura orizzontale pilotis isolata con cappotto (5 cm di polistirene) - chiusura orizzontale sopra ultimo piano isolata (6 cm di polistirene) - infissi con vetrocamera	0,358	0,506	0,531	0,525	3,3

80

Tuttavia, prima di passare all'analisi energetica, è stato necessario osservare le ipotesi da un punto di vista costruttivo, perché non è detto che la soluzione più efficiente sia la più adatta per un determinato edificio.
Si può dire che le ipotesi uno e tre siano identiche dal punto di vista del procedimento costruttivo, in quanto, in questi casi, è sufficiente praticare dall'interno un foro sulla parete e riempire l'intercapedine con un materiale sciolto. Poiché la quantità di materiale da utilizzare era fissata dalla dimensione dell'intercapedine, si è deciso di provare due materiali che avessero prestazioni termoigrometriche diverse. Sono quindi stati scelti due materiali molto diffusi: il polistirene espanso in perle, che ha proprietà isolanti molto elevate e permette di ottenere prestazioni superiori a quelle richieste dalla legge, e l'argilla espansa che garantisce prestazioni a norma di legge. Queste due soluzioni hanno il pregio di garantire buone prestazioni per la parete e allo stesso tempo di non alterare i caratteri fondamentali del tipo edilizio, ma nessuna delle due ipotesi risolve i ponti termici.
Al contrario, nelle altre configurazioni i ponti termici sono stati isolati; in particolare nell'ipotesi 2, tutta la chiusura verticale e lo scheletro portante sono rivestiti da un cappotto di 3 cm di polistirene, ottenendo una parete che ha una trasmittanza troppo alta rispetto alla legge, ma complessivamente ha il funzionamento migliore. Tuttavia questa soluzione è sconsigliabile perché modifica completa-

81_ Modifiche proposte per l'adeguamento energetico della chiusura verticale, ipotesi 1
82_ Modifiche proposte per l'adeguamento energetico della chiusura verticale, ipotesi 3
83_ Modifiche proposte per l'adeguamento energetico della chiusura verticale, ipotesi 2
84_ Modifiche proposte per l'adeguamento energetico della chiusura verticale, ipotesi 4
85_ Gli alloggi analizzati

83 *84*

mente l'edificio, privandolo della sincerità costruttiva che è la sua caratteristica emblematica. La soluzione migliore potrebbe essere l'ultima in quanto risolve i ponti termici e rispetta il tipo edilizio, bisogna però considerare che rivestire i ponti termici sarebbe un lavoro costoso la cui convenienza può essere valutata solo in seguito all'analisi energetica.

2.2.2. L'analisi energetica invernale

L'analisi energetica invernale è stata condotta su due dei cinque appartamenti:

- l'appartamento A, con i lati lunghi esposti a Nord e a Sud, un fattore di forma[60] pari a 0,63 e un fabbisogno energetico massimo di 46,13 kWh/m^{2}a;
- l'appartamento B, con i lati lunghi esposti a Est e a Ovest, un fattore di forma pari a 0,66 e un fabbisogno energetico massimo di 48,17 kWh/m^{2}a.

Per entrambi gli appartamenti è stato calcolato il fabbisogno energetico, in relazione a tutte le configurazioni suddette, considerandoli localizzati sia al primo sia al settimo piano, in quanto sono le due ipotesi più sfavorevoli. Quindi è stata fatta un'ulteriore distinzione tra il caso in cui l'appartamento localizzato rispettivamente al piano superiore e inferiore sia o non sia riscaldato e, in quest'ultimo

85

caso, se sia presente o no l'isolamento nelle chiusure orizzontali intermedie.

In primo luogo si può notare che l'appartamento A, avendo un'ampia parete con aperture finestrate rivolta a Nord, ha maggiori dispersioni di calore rispetto all'appartamento B, che verso Nord ha una parete priva di aperture e di dimensioni ridotte. Inoltre gli appartamenti all'ultimo piano hanno, nella configurazione non isolata, un fabbisogno energetico notevolmente maggiore rispetto a quelli al primo piano, tuttavia è stato possibile colmare questo dislivello utilizzando nella chiusura sopra il settimo piano lastre di isolante più spesse di 1 cm rispetto

86_ Fabbisogno energetico invernale dell'appartamento A del primo piano e del settimo piano

87_ Fabbisogno energetico invernale dell'appartamento B del primo piano e del settimo piano

APPARTAMENTO A	fabbisogno energetico invernale (kWh/m^{2}a)					
	primo piano			settimo piano		
	secondo piano riscaldato	secondo piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato	secondo piano non riscaldato, solaio intermedio isolato	sesto piano riscaldato	sesto piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato	sesto piano non riscaldato, solaio intermedio isolato
stato di fatto	71,93	102,03	-	84,04	122,39	-
ipotesi 1	24,58	61,22	37,54	23,06	59,51	35,91
ipotesi 2	24,7	60,89	37,54	23,26	59,19	35,94
ipotesi 3 (a norma di legge)	28,05	65,86	41,54	26,51	64,1	39,84
ipotesi 4	22,3	58,84	35,2	20,86	57,13	33,59

86

APPARTAMENTO B	fabbisogno energetico invernale (kWh/m^{2}a)					
	primo piano			settimo piano		
	secondo piano riscaldato	secondo piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato	secondo piano non riscaldato, solaio intermedio isolato	sesto piano riscaldato	sesto piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato	sesto piano non riscaldato, solaio intermedio isolato
stato di fatto	68,23	102,03	-	79,06	112,89	-
ipotesi 1	21,73	55,14	33,63	20,41	53,82	32,17
ipotesi 2	19,86	52,54	31,57	18,54	51,02	30,12
ipotesi 3 (a norma di legge)	24,11	58,26	36,43	22,66	56,67	34,89
ipotesi 4	17,95	51,07	29,66	16,69	49,53	28,23

87

a quelle del pilotis.
Un'altra osservazione che si può fare riguarda l'opportunità di isolare le chiusure orizzontali intermedie per evitare "i furti di calore"; il Dlgs 192/05, infatti, mentre prevede l'isolamento delle chiusure verticali poste tra appartamenti diversi, in modo da garantire una trasmittanza di 0,80 W/m^{2}K, non prevede alcun isolamento tra appartamenti sovrapposti. Tale disposizione può essere adatta ad esempio ad un tipo edilizio a schiera, ma di certo è inadeguata al tipo edilizio dell'edificio analizzato, in quanto, in questo caso, eccezion fatta per gli appartamenti C e D, le superfici in comune tra appartamenti adiacenti sullo stesso piano sono molto ridotte, mentre quelle tra appartamenti sovrapposti sono pari all'intera pianta.
Ad esempio, nella prima colonna della tabella riassuntiva dei calcoli riguardanti l'appartamento A, è riportato il valore del fabbisogno relativo al caso in cui l'appartamento al piano superiore sia riscaldato. I risultati ottenuti per ogni configurazione sono nettamente inferiori, circa la metà, rispetto al fabbisogno energetico massimo. Nella colonna a fianco, invece, sono riportati i valori ottenuti nell'ipotesi che l'appartamento al piano superiore non sia isolato e, come si può facilmente notare, nessuna delle configurazioni rientra nei consumi consentiti. Infine la terza colonna mostra i risultati del calcolo ottenuti modificando la soluzione precedente con l'introduzione dell'isolamento nella chiusura orizzontale intermedia; i valori ottenuti sono nettamente inferiori al massimo consentito.
Non isolare gli elementi di divisione tra appartamenti adiacenti potrebbe portare all'assurdo di avere un fabbisogno energetico elevato pur avendo investito una notevole quantità di risorse per migliorare le prestazioni dell'involucro.
Per quanto riguarda la scelta del tipo di isolamento da utilizzare nella chiusura verticale dell'involucro si è già detto che alle considerazioni svolte nel paragrafo precedente è necessario aggiungerne altre legate all'efficienza dell'edificio. Come si può notare osservando le due tabelle, la variazione del fabbisogno energetico rispetto alle prestazioni dell'involucro segue lo stesso andamento nei dodici casi presi in considerazione; è quindi sufficiente condurre l'analisi scegliendone uno: l'appartamento B al primo piano adiacente a appartamenti riscaldati.
Nel confronto tra le quattro configurazioni isolate, il riferimento è quella a norma di legge, l'ipotesi 3, che garantisce un fabbisogno energetico di circa 20 kWh/m^{2}a inferiore a quello massimo. Il passaggio dall'ipotesi 3 alla 1, cioè da una trasmittanza di 0,532 W/m^{2}K a 0,358 W/m^{2}K, non riduce in modo notevole il fabbisogno energetico, ma di soli 2,5 kWh/m^{2}a. Inoltre l'ipotesi 2, pur prevedendo una chiusura verticale con 0,694 W/m^{2}K, ha un fabbisogno di 19,86 kWh/m^{2}a cioè una configurazione con prestazioni dell'involucro inferiori a quelle previste

dalla legge ha un comportamento più efficiente non solo di quella a norma di legge, ma anche di quella migliore. Infatti, come si era già detto nel paragrafo precedente, l'isolamento a cappotto è sicuramente la soluzione migliore dal punto di vista termoigrometrico perché, oltre a isolare la parete, risolve nel modo migliore i ponti termici, tuttavia non può essere utilizzata perché non rispetta l'architettura originaria dell'edificio.
Quello che stupisce, in realtà, è che non ci siano variazioni sostanziali al variare della trasmittanza e che quindi, per un clima mite come quello sardo, non ha senso isolare oltre un certo livello, perché, come si è già visto nell'esempio della casa Serra, non si ottengono miglioramenti apprezzabili nel funzionamento globale. Inoltre anche in questo caso emerge che il rispetto delle prestazioni degli elementi di fabbrica, fissati in legge, porta ad avere un fabbisogno energetico molto inferiore rispetto a quello consentito. Poiché, per questo particolare edificio, la scelta riguardo alla chiusura verticale è vincolata da questioni tipologiche, si potrebbe, ad esempio, pensare di ridurre l'isolamento degli altri elementi di fabbrica, in modo da avere un edificio comunque efficiente unito a costi ridotti e un minore inquinamento in fase di produzione.
Si potrebbe inoltre valutare quanto sia vantaggioso combinare l'ipotesi 1 all'isolamento dei ponti termici. Sicuramente il rivestimento dei soli ponti termici non è semplice da un punto di vista costruttivo, per quanto riguarda la correlazione tra parete faccia a vista e isolante, e inoltre cambierebbe la percezione del rapporto tra i due elementi di fabbrica in quanto lo scheletro diventerebbe molto più evidente.
Se poi si passa al rapporto costi benefici, non si tratta di un intervento conveniente. La correzione del ponte termico riduce il fabbisogno energetico di 3,78 kWh/m^{2}a, considerato che il costo di un kWh è di 0,21174 euro e l'appartamento ha una superficie di 102 m^2, si tratta di un risparmio di circa 81 euro all'anno, che si riducono a 27 euro nel caso in cui l'impianto di riscaldamento sia costituito da una pompa di calore con C.O.P. pari a 3. I ponti termici di un appartamento si estendono per una superficie di circa 18,5 m^2 e il costo della fornitura e posa in opera di un m^2 di cappotto, compreso l'intonaco, è di circa 40 euro a m^2, cui bisogna aggiungere 8 euro a m^2 per i ponteggi per un'estensione di circa 3182 m^2, per un totale di 1500 euro ad appartamento e un ammortamento di 55 anni!
In realtà, la cifra globale dei lavori non è proibitiva, è invece molto scoraggiante il fatto che si dovrebbero montare i ponteggi che invece non sarebbero necessari nell'ipotesi 1 e 3. Inoltre, mentre sugli altri elementi di fabbrica ogni singolo proprietario potrebbe intervenire liberamente adeguando unicamente il proprio appartamento, il rivestimento dei ponti termici deve necessariamente riguardare tutto lo scheletro portante presupponendo quindi la partecipazione di tutto il

condominio.
In conclusione, l'isolamento dei ponti termici migliora in modo irrilevante l'efficienza dell'edificio considerato, non è conveniente da un punto economico ed è molto complicato sia da un punto di vista costruttivo che organizzativo.
Le configurazioni migliori sono, quindi, da un punto di vista complessivo, l'ipotesi 1 e l'ipotesi 3. Dovendo scegliere una delle due si potrebbe pensare che la prima sia migliore, tuttavia la differenza di fabbisogno energetico ottenuto al variare delle due configurazioni è talmente esigua che non giustifica la preferenza di una rispetto all'altra.
A favore del polistirene in granuli si potrebbe osservare che, oltre ad essere un materiale dalle ottime prestazioni, ha un prezzo notevolmente inferiore a quello dell'argilla espansa: si passa dai 60 agli 80 euro a m^3. E' anche vero però che il polistirene è una sostanza altamente tossica in caso di incendio, sia a causa della sua composizione organica, è un polimero dello stirene, sia a causa degli additivi antifiamma. Inoltre, per quanto riguarda lo smaltimento, la reazione con gli acidi presenti in discarica potrebbe causare le emissioni di sostanze dannose per le falde acquifere e si sospetta che anche il processo di incenerimento produca sostanze tossiche.
L'argilla espansa invece, oltre ad avere un processo produttivo meno energivoro, non ha effetti negativi per la salute dell'uomo nemmeno in caso di incendio ed è riutilizzabile oltre che smaltibile in discariche per inerti.
Per riempire l'intercapedine della chiusura verticale sono necessari circa 35 m^3 di isolante, con un costo di 2800 euro, nel caso si usi argilla espansa, e di 2100 euro nel caso si usi polistirene. Si tratta quindi di una maggiorazione dei costi non eccessiva, giustificata dalla ricerca della soluzione meno dannosa per la salute degli abitanti.
Infine, per avere un quadro completo del comportamento energetico dell'edificio, anche in questo esempio è stato calcolato l'effettivo fabbisogno di energia primaria nel caso si installino una pompa di calore e nel caso si installi una caldaia a gas.
Come per la Casa Serra sono state considerate sia la normativa vigente sia il progetto di normativa europea prEN 15315. Per brevità si riportano solo le tabelle riassuntive dell'appartamento B.
Anche in questo caso emerge il fatto che l'impianto scelto influenza in modo notevole il risultato e conseguentemente emerge la necessità di affiancare, allo studio del funzionamento del sistema edificio-impianto, indicatori che controllino il comportamento energetico legato unicamente alle dispersioni.
La prima questione è che, pur considerando l'efficienza dell'impianto e il fattore di energia primaria, il fabbisogno ottenuto utilizzando entrambi gli impianti è

APPART. B	fabbisogno energia primaria invernale (kWh/m^{2}a)-pompa di calore											
	primo piano						settimo piano					
	secondo piano riscaldato		secondo piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato		secondo piano non riscaldato, solaio intermedio isolato		sesto piano riscaldato		sesto piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato		sesto piano non riscaldato, solaio intermedio isolato	
	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315
stato di fatto	26,24	62,19	39,24	93,00	-	-	30,41	72,07	43,42	102,90	-	-
ipotesi 1	8,36	19,81	21,21	50,26	12,93	30,66	7,85	18,6	20,7	49,06	12,37	29,32
ipotesi 2	7,64	18,10	20,21	47,89	12,14	28,78	7,131	16,9	19,62	46,51	11,58	27,46
ipotesi 3 (a norma di legge)	9,27	21,98	22,41	53,11	14,01	33,21	8,715	20,66	21,8	51,66	13,42	31,80
ipotesi 4	6,90	16,36	19,64	46,55	11,41	27,04	6,419	15,21	19,05	45,15	10,86	25,73

88

APPART. B	fabbisogno energia primaria invernale (kWh/m^{2}a)-caldaia a gas											
	primo piano						settimo piano					
	secondo piano riscaldato		secondo piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato		secondo piano non riscaldato, solaio intermedio isolato		sesto piano riscaldato		sesto piano non riscaldato, solaio intermedio non isolato		sesto piano non riscaldato, solaio intermedio isolato	
	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315	norm. vig.	prEN 15315
stato di fatto	92,20	101,42	137,88	151,67	-	-	106,84	117,52	152,55	167,81	-	-
ipotesi 1	29,36	32,30	74,51	81,96	45,45	49,99	27,58	30,34	72,73	80,00	43,47	47,82
ipotesi 2	26,84	29,52	71,00	78,10	42,66	46,93	25,05	27,56	68,95	75,84	40,70	44,77
ipotesi 3 (a norma di legge)	32,58	35,84	78,73	86,60	49,23	54,15	30,62	33,68	76,58	84,24	47,15	51,86
ipotesi 4	24,26	26,68	69,01	75,91	40,08	44,09	22,55	24,81	66,93	73,63	38,15	41,96

89

nettamente inferiore a quello limite.

In particolare, se si osserva la tabella riguardante la pompa di calore si può notare che quasi tutte le configurazioni considerate hanno un fabbisogno di energia primaria molto basso: addirittura anche nello stato di fatto, usando il calcolo attualmente in vigore, si rispetta il limite consentito! L'unico caso in cui le configurazioni isolate sono associate a valori di fabbisogno energetico simili al limite massimo (poco superiori o inferiori) è quello in cui si è supposto che

88_ Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento invernale, dell'appartamento B del primo piano e del settimo piano, con uso di pompa di calore

89_ Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento invernale, dell'appartamento B del primo piano e del settimo piano, con uso di pompa di calore

90_ Tabella riassuntiva dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento A al primo piano

gli appartamenti limitrofi non siano riscaldati, non ci sia l'isolamento nei piani intermedi e il fabbisogno di energia primaria sia calcolato secondo il progetto di normativa europea.

Nel caso in cui si utilizzi la caldaia i consumi sono molto alti, se si considerano i furti di calore con assenza di isolamento nelle chiusure intermedie, mentre, introducendo l'isolamento nelle chiusure intermedie, il fabbisogno di energia primaria è in linea con quello massimo. Bisogna comunque considerare che i furti di calore, in un palazzo per appartamenti riscaldato con caldaia, sono da escludere in quanto, generalmente, si tratta di impianti centralizzati.

Tuttavia, poiché la sostituzione degli impianti centralizzati con quelli indipendenti è molto diffusa, è meglio isolare comunque i piani intermedi in modo da garantire un funzionamento efficiente dell'edificio in ogni situazione. Come si è già detto, trascurare la possibilità dei furti di calore è un errore che potrebbe compromettere l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto; la soluzione non è però sovradimensionare l'impianto in considerazione del fatto che l'appartamento limitrofo potrebbe, ad esempio, essere disabitato, ma progettare gli elementi di fabbrica, dell'involucro e intermedi, in modo da garantire comunque un buon funzionamento energetico di ciascuna unità abitativa.

2.2.3. L'analisi energetica estiva

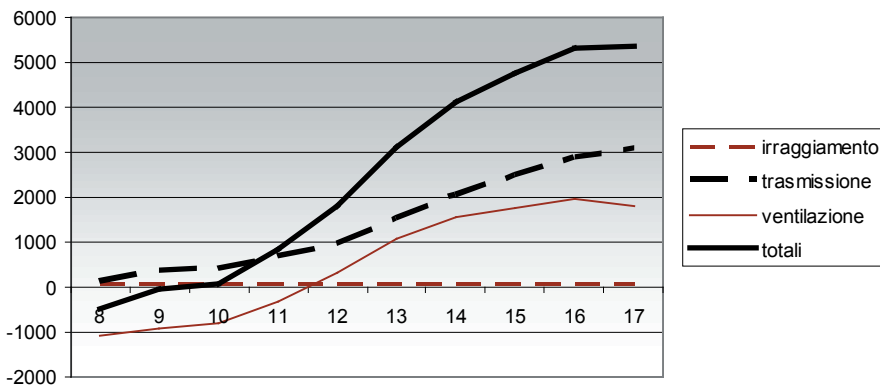
L'analisi energetica estiva è stata condotta considerando tutte le configurazioni analizzate precedentemente, esclusa l'ipotesi 4, per entrambi gli appartamenti localizzati sia al primo che al settimo piano. Il calcolo è stato effettuato secondo il metodo di calcolo usato per l'esempio precedente per un giorno del mese di Luglio, per ogni ora, dalle ore 8,00 alle ore 17,00, in base ai seguenti dati climatici:

- per le condizioni interne una temperatura pari a 26°C e un'umidità pari al 50%;
- per le condizioni esterne una temperatura pari a 32,1°C e un'umidità pari al 59,50%.

Anche in questo caso sono state elaborate le tabelle riassuntive dei 160 fogli di calcolo necessari allo studio delle configurazioni considerate.

Da una prima analisi veloce, fatta osservando i grafici qualitativamente, emerge

Stato di fatto	carichi termici appartamento A primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	71,58	75,94	78,34	87,88	92,85	96,19	97,61	96,7	93,17	86,09
trasmissione	112,2	373,12	398,53	674,86	958,46	1516,84	2038,53	2477,97	2865,41	3065,13
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,94	1949,79	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	-464,19	-53,22	96	859,71	1793,47	3101,4	4113,95	4755,03	5328,79	5374,56

90

91

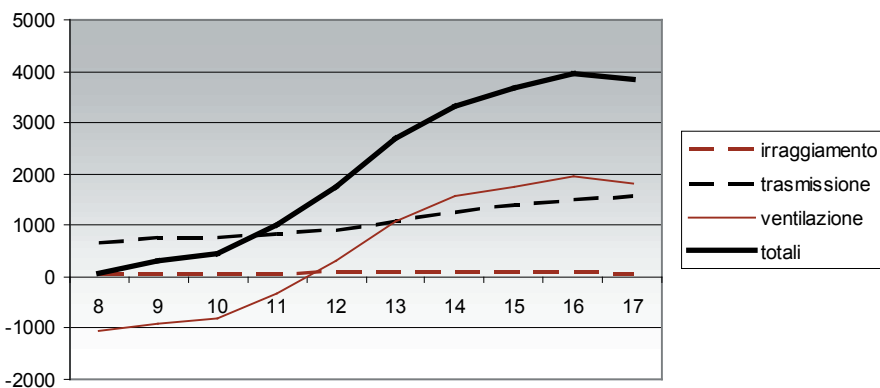
91_ Grafico rappresentativo dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento A al primo piano

92, 94, 96 _ Tabelle riassuntive dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento A al primo piano

93, 95, 97_ Grafici rappresentativi dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento A al primo piano

98_ Tabella riassuntiva dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento A al settimo piano

Ipotesi 1	carichi termici appartamento A primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	67,17	71,27	73,52	82,49	87,14	90,27	91,6	90,75	87,43	80,79
trasmissione	659,05	754,87	750,89	834,78	921,2	1094,17	1256,21	1385,82	1500,28	1554,57
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,34	1949,79	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	78,25	323,86	443,54	1014,24	1750,5	2672,81	3325,62	3656,33	3957,92	3858,7

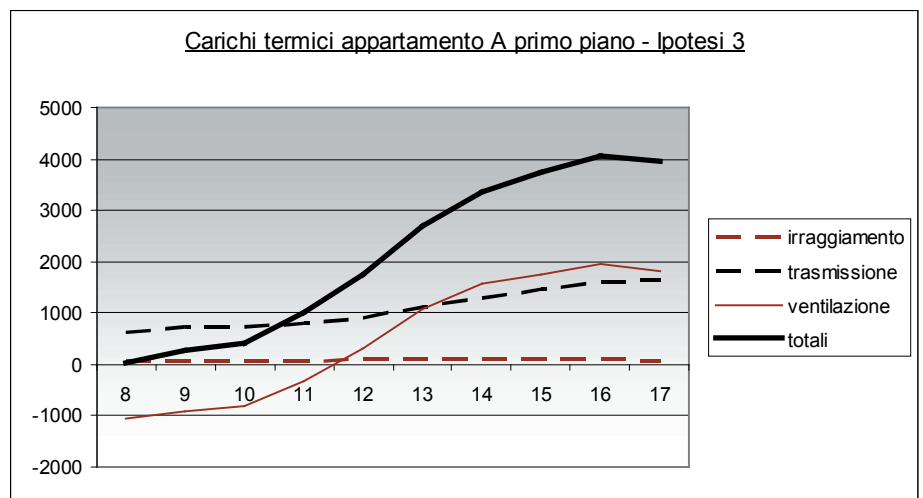
92

93

Ipotesi 2	carichi termici appartamento A primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	67,17	71,27	73,52	82,49	87,14	90,27	91,6	90,75	87,43	80,79
trasmissione	579,77	688,97	685,91	800,17	920,61	1141,5	1342,39	1516,9	1669,76	1749,71
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,34	1949,79	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	-1,03	257,96	378,56	979,63	1749,91	2720,14	3411,8	3787,41	4127,4	4053,84

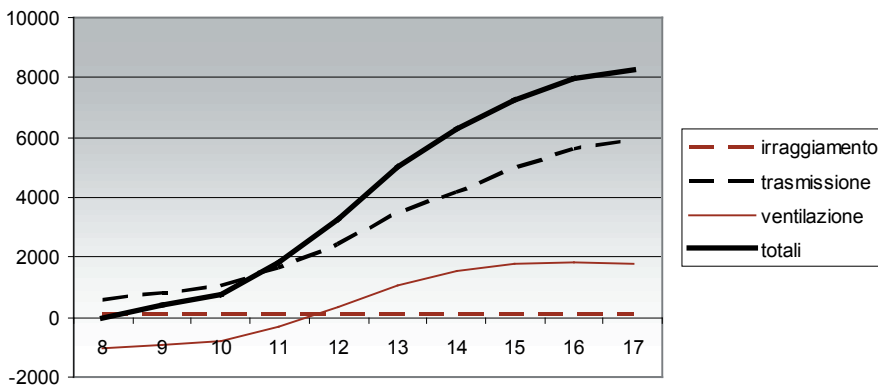
94

95

Ipotesi 3	carichi termici appartamento A primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	67,17	71,27	73,52	82,49	87,14	90,27	91,6	90,75	87,43	80,79
trasmissione	617,99	720,74	717,24	816,86	920,9	1118,68	1300,84	1453,51	1588,05	1655,63
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,34	1949,79	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	37,19	289,73	409,89	996,32	1750,2	2697,32	3370,25	3724,02	4045,69	3959,76

96

97

Stato di fatto	carichi termici appartamento A settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	71,58	75,94	78,34	87,88	92,85	96,19	97,61	96,7	93,17	86,09
trasmissione	553,49	812,25	1053,53	1658,009	2434,58	3453,53	4188,51	4940,48	5603,64	5941,43
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,94	1843,94	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	-22,9	385,91	751	1842,859	3269,59	5038,09	6263,93	7217,54	7961,17	8250,86

98

99

99_ Grafico rappresentativo dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento A al settimo piano

100, 102, 104 _ Tabelle riassuntive dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento A al settimo piano

101, 103, 105_ Grafici rappresentativi dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento A al settimo piano

106_ Tabella riassuntiva dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento B al primo piano

Ipotesi 1	carichi termici appartamento A settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	67,17	71,27	73,52	82,49	87,14	90,27	91,6	90,75	87,43	80,79
trasmissione	855,06	936,87	968,9	1111,15	1294,3	1532,07	1702,42	1873,08	2021,43	2096,78
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,34	1843,94	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	274,26	505,86	661,55	1290,61	2123,6	3110,71	3771,83	4143,59	4373,22	4400,91

100

101

Ipotesi 2	carichi termici appartamento A settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	67,17	71,27	73,52	82,49	87,14	90,27	91,6	90,75	87,43	80,79
trasmissione	775,78	870,96	903,92	1076,54	1293,71	1579,4	1788,66	2004,56	2186,94	2291,92
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,34	1843,94	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	194,98	439,95	596,57	1256	2123,01	3158,04	3858,07	4275,07	4538,73	4596,05

102

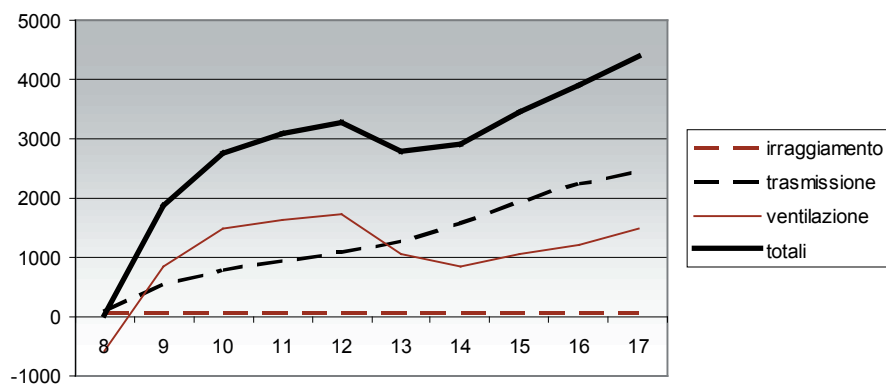
103

Ipotesi 3	carichi termici appartamento A settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	67,17	71,27	73,52	82,49	87,14	90,27	91,6	90,75	87,43	80,79
trasmissione	814,01	902,74	935,25	1093,92	1294	1556,58	1747,1	1941,17	2107,14	2197,84
ventilazione	-1068,39	-922,7	-801,29	-323,45	321,74	1067,95	1557,39	1759,34	1843,94	1802,92
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	233,21	471,73	627,9	1273,38	2123,3	3135,22	3816,51	4211,68	4458,93	4501,97

104

105

Stato di fatto	carichi termici appartamento B primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	73,44	73,08	71,21	66,58	59,81	55,21	54,95	57,48	58,18	54,46
trasmissione	101,28	537,31	777,09	947,55	1076,37	1267,88	1585,23	1930,48	2232,39	2448,33
ventilazione	-569,75	860,72	1498,2	1646,1	1715,06	1048,06	859,51	1056,25	1207,47	1475,47
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	25,39	1891,53	2766,92	3080,65	3271,66	2791,57	2920,11	3464,63	3918,46	4398,68

106

107

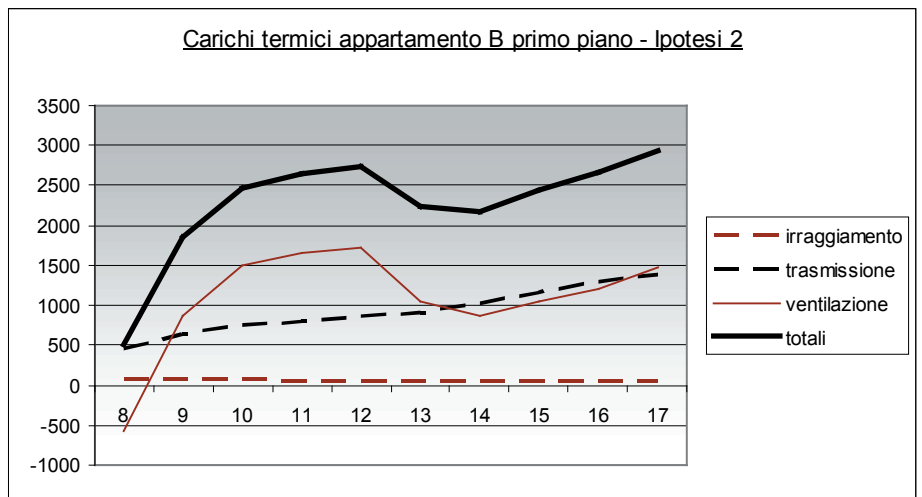
107_ Grafico rappresentativo dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento B al primo piano
108, 110, 112 _ Tabelle riassuntive dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento B al primo piano
109, 111, 113_ Grafici rappresentativi dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento B al primo piano
114_ Tabella riassuntiva dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento B al settimo piano

Ipotesi 1	carichi termici appartamento B primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	68,92	68,58	66,82	62,48	56,13	51,82	51,57	53,94	54,59	55,79
trasmissione	530,67	668,21	731,8	782,9	821,42	879,23	976,38	1076,54	1164,94	1225,36
ventilazione	-441,45	718,72	1235,74	1346,25	1394,84	841,08	675,2	803,87	901,68	1091,74
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	578,56	1875,93	2454,78	2612,05	2692,81	2192,55	2123,57	2354,77	2541,63	2793,31

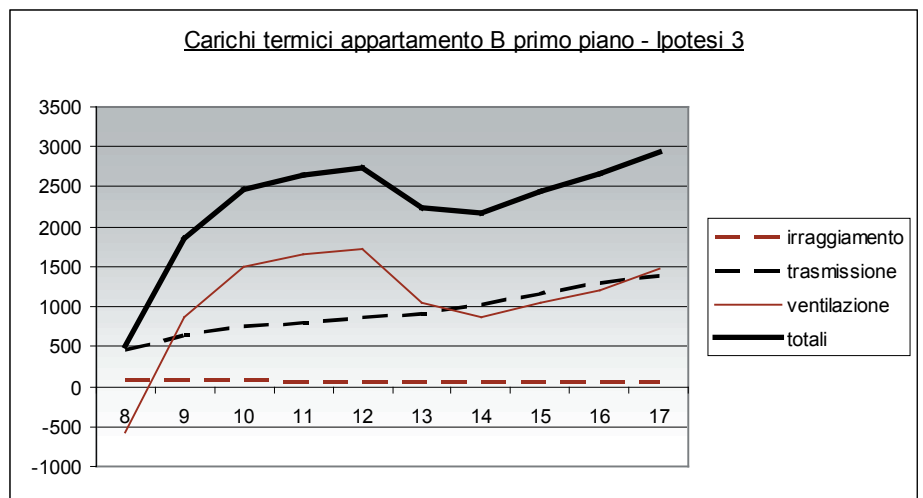
108

109

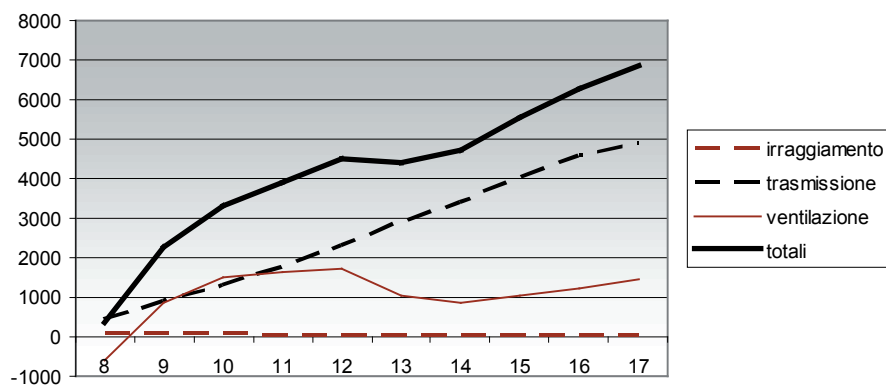
Ipotesi 2	carichi termici appartamento B primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	68,92	68,58	66,82	62,48	56,13	51,82	51,57	53,94	54,59	55,79
trasmissione	457,98	652,63	743,79	811,17	861,08	916,72	1030,09	1166,15	1284,4	1374,83
ventilazione	-441,45	718,72	1235,74	1346,25	1394,84	841,08	675,2	803,87	901,68	1091,74
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	505,87	1860,35	2466,77	2640,32	2732,47	2230,04	2177,28	2444,38	2661,09	2942,78

110

111

Ipotesi 3	carichi termici appartamento B primo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	68,92	68,58	66,82	62,48	56,13	51,82	51,57	53,94	54,59	55,79
trasmissione	493,02	660,14	738,01	797,54	842	898,65	1004,19	1122,94	1226,8	1302,76
ventilazione	-441,45	718,72	1235,74	1346,25	1394,84	841,08	675,2	803,87	901,68	1091,74
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	540,91	1867,86	2460,99	2626,69	2713,39	2211,97	2151,38	2401,17	2603,49	2870,71

112

113

Stato di fatto	carichi termici appartamento B settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	73,44	73,08	71,21	66,58	59,81	55,21	54,95	57,48	58,18	54,46
trasmissione	462,02	900,03	1323,45	1772,05	2296,61	2902,87	3409,98	4023,41	4582,79	4897,33
ventilazione	-569,75	860,72	1498,2	1646,1	1715,06	1048,06	859,51	1056,25	1207,47	1475,47
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	386,13	2254,25	3313,28	3905,15	4491,9	4426,56	4744,86	5557,56	6268,86	6847,68

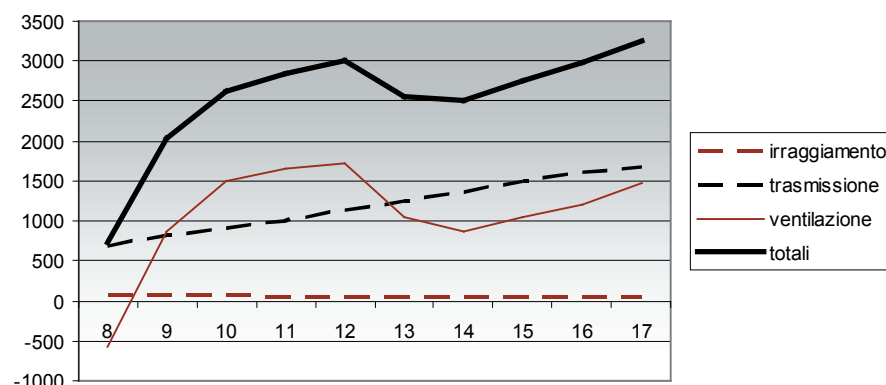
114

115

115_ Grafico rappresentativo dell'andamento dei carichi termici estivi dello stato stato di fatto dell'appartamento B al settimo piano

116, 118, 120 _ Tabelle riassuntive dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento B al settimo piano

117, 119, 121_ Grafici rappresentativi dell'andamento dei carichi termici estivi delle ipotesi 1, 2, 3 dell'appartamento B al settimo piano

Ipotesi 1	carichi termici appartamento B settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	68,92	68,58	66,82	62,48	56,13	51,82	51,57	53,94	54,59	55,79
trasmissione	694,54	820,37	907	1008,23	1128,78	1244,07	1351,82	1489,14	1614,01	1686,97
ventilazione	-441,45	718,72	1235,74	1346,25	1394,84	841,08	675,2	803,87	901,68	1091,74
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	742,43	2028,09	2629,98	2837,38	3000,17	2557,39	2499,01	2767,37	2990,7	3254,92

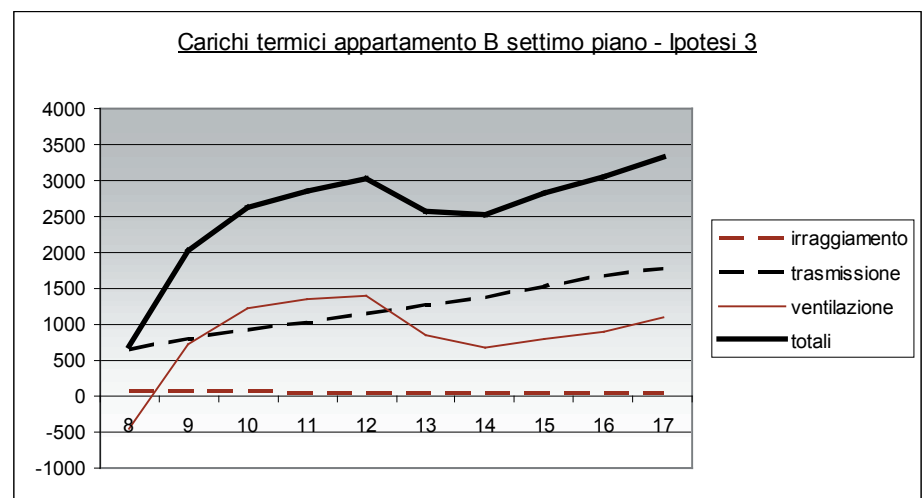
116

117

Ipotesi 2	carichi termici appartamento B settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	68,92	68,58	66,82	62,48	56,13	51,82	51,57	53,94	54,59	55,79
trasmissione	621,85	804,78	919,05	1036,5	1168,34	1281,57	1405,53	1578,75	1910,4	1836,43
ventilazione	-441,45	718,72	1235,74	1346,25	1394,84	841,08	675,2	803,87	901,68	1091,74
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	669,74	2012,5	2642,03	2865,65	3039,73	2594,89	2552,72	2856,98	3287,09	3404,38

118

119

Ipotesi 3	carichi termici appartamento B settimo piano (W)									
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
irraggiamento	68,92	68,58	66,82	62,48	56,13	51,82	51,57	53,94	54,59	55,79
trasmissione	656,9	812,3	913,27	1022,87	1149,27	1263,49	1379,63	1535,54	1675,87	1764,37
ventilazione	-441,45	718,72	1235,74	1346,25	1394,84	841,08	675,2	803,87	901,68	1091,74
carichi interni	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42	420,42
totali	704,79	2020,02	2636,25	2852,02	3020,66	2576,81	2526,82	2813,77	3052,56	3332,32

120

121

che l’andamento dei carichi termici di un appartamento è molto differente rispetto a quello dell’altro. Questo è dovuto al fatto che il primo è prevalentemente esposto a Nord e Sud ed è adiacente al corpo scala lungo la parete est, mentre il secondo è prevalentemente esposto a Est e Ovest e ed adiacente al corpo scala lungo la parete Sud. Infatti, mentre i carichi termici dell’appartamento A aumentano progressivamente col passare delle ore, invece quelli dell’appartamento B hanno un picco a mezzogiorno poi diminuiscono fino alla 14 e dalle 14

in poi aumentano.

Passando al raffronto tra i carichi termici dello stesso appartamento localizzato al primo e al settimo piano, emerge che in assenza di isolamento l'ultimo piano è soggetto a carichi termici molto maggiori pur essendo separato dalla copertura da un sottotetto aerato trasversalmente: alle ore 17 i carichi termici dell'appartamento A al settimo piano superano quelli al primo di circa 3000W. Effettuando lo stesso confronto con una configurazione isolata, ad esempio l'ipotesi 1, la differenza si riduce a circa 600W, se ne deduce che l'isolamento della chiusura orizzontale che separa il settimo piano dal sottotetto è assolutamente necessario per il contenimento dei consumi estivi.

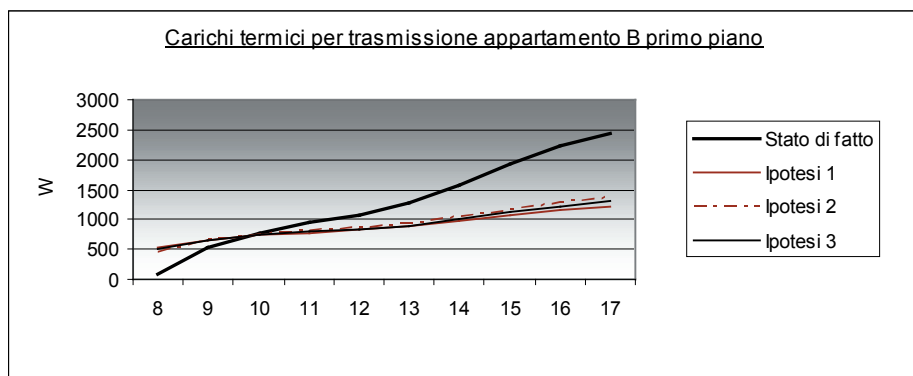
Per scegliere invece le prestazioni delle chiusure verticali in modo da avere un efficiente comportamento energetico estivo è sufficiente confrontare le diverse ipotesi di isolamento degli elementi di fabbrica relative ad un unico caso, si è scelto l'appartamento B al primo piano.

Per le prime ore della giornata, i carichi termici per trasmissione della configurazione non isolata sono inferiori rispetto a quelli delle altre configurazioni perché si verifica un flusso di calore dell'appartamento verso il piano pilotis, che essendo in ombra, ha, appunto per le prime ore della giornata, una temperatura inferiore rispetto agli ambienti interni. Ovviamente l'introduzione dell'isolamento non permette di sfruttare a pieno questa possibilità di riduzione dei carichi interni. Tuttavia, come si è già detto per la casa Serra riguardo alle trasmissioni di calore attraverso la chiusura orizzontale di base, non si può non isolare la chiusura orizzontale in quanto si aumenterebbe il fabbisogno energetico invernale. Inoltre, in questo caso, il vantaggio dato dall'assenza di isolamento è già imper-

122_ Tabella riassuntiva del confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione dello stato stato di fatto, dell'appartamento B al primo piano, e l'andamento diquelli delle ipotesi 2-4-6

123_ Grafico rappresentante il confronto tra l'andamento dei carichi termici estivi per trasmissione dello stato stato di fatto, dell'appartamento B al primo piano, e l'andamento di quelli delle ipotesi 2-4-6

carichi termici per trasmissione appartamento B primo piano (W)										
ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Stato di fatto	101,28	537,31	777,09	947,55	1076,37	1267,88	1585,23	1930,48	2232,39	2448,33
Ipotesi 1	530,67	668,21	731,8	782,9	821,42	879,23	976,38	1076,54	1164,94	1225,36
Ipotesi 2	457,98	652,63	743,79	811,17	861,08	916,72	1030,09	1166,15	1284,4	1374,83
Ipotesi 3	493,02	660,14	738,01	797,54	842	898,65	1004,19	1122,94	1226,8	1302,76

122

123

cettibile alle ore 10 e termina alle ore 13 quando il flusso di calore si inverte.
Dalle ore 10 il comportamento energetico dell'edificio è più efficiente nelle configurazioni isolate piuttosto che nello stato di fatto, il divario dovuto alla presenza dell'isolamento aumenta col passare delle ore fino ad arrivare a circa 1100 W alle ore 17. Se isolare gli elementi di fabbrica è quindi indubbiamente molto vantaggioso per l'efficienza energetica dell'edificio, tuttavia la scelta tra le tre ipotesi isolate non è semplice: il dislivello tra i carichi termici estivi per trasmissione è talmente esiguo che i grafici rappresentativi quasi si sovrappongono.
Preferire l'ipotesi 1 alla 3 vorrebbe dire scegliere, per un risparmio di pochi W, un materiale più dannoso per la salute dell'uomo.
Quindi, anche riguardo al comportamento estivo, il vantaggio che si ottiene dall'aumento delle prestazioni della chiusura verticale non è tale da giustificare un eccessivo aumento degli impatti ambientali di produzione e si possono considerare valide le conclusioni elaborate per il comportamento invernale.

3. LA SCELTA DELL'ISOLANTE

L'analisi di due esempi così diversi fa emergere che nella progettazione di un edificio con consumi energetici contenuti sia meglio valutare in modo attento lo spessore degli isolanti senza fare l'errore di pensare che l'eccesso sia sempre la soluzione migliore.
Una volta determinate le prestazioni degli elementi di fabbrica, necessarie per il progetto che si sta affrontando, sarebbe il caso di valutare i materiali isolanti disponibili in commercio. Finora, infatti, ad eccezione dell'argilla espansa nell'intercapedine, per praticità lo studio è stato condotto utilizzando unicamente il polistirene sia in lastre che sfuso.
Si è già detto che questo materiale, molto diffuso in edilizia, è caratterizzato da ottime prestazioni, ma è dannoso per l'uomo e l'ambiente e si è pensato di sostituirlo con l'argilla espansa che, secondo la letteratura sull'argomento, è molto meno dannosa.
In realtà esistono altre alternative sia per quanto riguarda i materiali in lastre, sia per quanto riguarda quelli sfusi. Si è quindi condotta, con la collaborazione della Dott. Elena Occhioni, l'analisi LCA, applicata alla fase di produzione secondo il metodo CML v2.1, in modo da confrontare gli impatti ambientali di nove materiali isolanti derivanti da materie prime vegetali, materie prime minerali, materie prime sintetiche e materie prime riciclate.
La preferenza di un materiale rispetto ad un altro non può dipendere unicamente dal risultato dell'analisi degli impatti ambientali, ma anche dal rispetto delle prestazioni definite nel capitolo precedente in modo che gli elementi di fabbrica abbiano un funzionamento termoigrometrico corretto.

MATERIALI ISOLANTI			
materie prime vegetali	materie prime minerali	materie prime sintetiche	materie prime riciclate
Legno mineralizzato	Lana di vetro	Poliuretano	Vetro riciclato
Fibra di legno	Lana di roccia	Polistirene espanso	Fibra di cellulosa
			Fibra di poliestere

124

124_ I materiali analizzati

3.1. I MATERIALI ISOLANTI

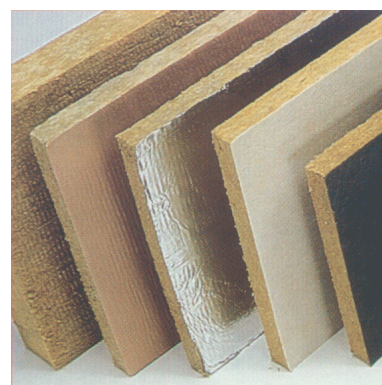
Sono definiti materiali isolanti quelli che hanno una conducibilità termica inferiore a 0,1 W/mK. Generalmente sono fibrosi o porosi e quelli dal funzionamento migliore sono caratterizzati da una struttura alveolare chiusa, all'interno della quale è racchiusa l'aria. Alcune proprietà che i materiali devono garantire variano a seconda della posizione che occupano nella stratificazione dell'elemento di fabbrica. Se, infatti, si tratta di una lastra di isolante da utilizzare per un rivestimento a cappotto, è necessario un materiale rigido, resistente agli agenti atmosferici, che garantisca una buona resistenza al passaggio di calore, che non opponga grandi resistenze alla diffusione del vapore[61] e sia igroscopico[62]. L'isolante da inserire nell'intercapedine deve avere proprietà termoigrometriche analoghe, mentre non deve necessariamente garantire alcuna resistenza agli agenti atmosferici, non deve presentarsi in forma di lastra, ma di materiale sciolto facile da iniettare, e non deve deteriorarsi al contatto con l'umidità.
Quest'ultima caratteristica è in parte legata all'igroscopicità dei materiali, infatti, se il materiale è igroscopico a cellule chiuse, come il polistirene, non è alterato dall'umidità, invece se è igroscopico, fibroso o poroso, l'umidità sostituisce l'aria all'interno dei pori compromettendone le proprietà coibenti.
Quindi, per tutti i materiali scelti, sono state ricavate da testi specialistici indicazioni sulle prestazioni in modo da capire quale sia l'uso più adeguato per ogni materiale e, conseguentemente, quale o quali materiali siano i più adatti al recupero dei due edifici analizzati. Alcune caratteristiche sono state riportate in modo quantitativo (conducibilità termica, resistenza al vapore, etc.), altre in modo qualitativo, in particolare le emissioni in fase di produzione saranno poi esplicitate numericamente nel paragrafo successivo.

125

126

127

3.1.1. Il legno mineralizzato

Le lastre di legno mineralizzato sono realizzate con trucioli di legno a fibra lunga legati con magnesite (o anche gesso o cemento) e impregnati contro la putrefazione con solfato di magnesite: un impasto di fibre di legno e magnesite è sottoposto ad alta temperatura e compressione, in modo che il legno perda le parti organiche deperibili e si mineralizzi.
Le lastre ottenute hanno uno spessore che varia dai 25 agli 80 mm e possono essere utilizzate su superfici esterne. Non hanno ottime proprietà isolanti (λ=0,09 W/mK), ma sono permeabili al vapore($2<\mu<5$), igroscopiche, non si deteriorano a contatto con l'umidità e hanno un'ottima resistenza al fuoco.
Non sono documentati effetti negativi per la salute dell'uomo e in caso di incendio i soli gas che sono emessi sono quelli derivanti dalla combustione del

125_ Il legno mineralizzato
126_ Le fibre di legno
127_ La lana di roccia

legno. Le lastre non sono riutilizzabili ma possono essere smaltite facilmente in discarica.

Purtroppo, a causa delle mediocri proprietà coibenti, i produttori propongono soluzioni miste in cui la lastra di legno mineralizzato è accoppiata con una lastra di materiale con alte proprietà coibenti come polistirene o lana di roccia. Ovviamente in questo caso il materiale ha un impatto ambientale maggiore.

3.1.2. Le fibre di legno

La materia prima proviene dagli scarti di legno delle conifere, sfibrati meccanicamente o a vapore, e impastati con acqua per formare materassi morbidi che sono fatti asciugare a caldo (120°-190°)e poi leggermente compressi; il principale legante è la lignina contenuta nel legno stesso. Contro la putrefazione sono aggiunte piccole quantità di solfato di allumina e come antifiamma solfato di ammonio.

Il prodotto ottenuto ha buone prestazioni termoigrometriche, ha una conducibilità termica pari a 0,05 W/mK, è permeabile al vapore ($5<\mu<13$), igroscopico, ma si deteriora a contatto con l'umidità.

In caso di incendio non produce gas tossici, può essere sia riciclato sia recuperato per la produzione di energia.

Anche in questo caso il bassissimo impatto ambientale è mantenuto se il materiale non è modificato per migliorarne le prestazioni. Ad esempio è da evitare l'uso di bitume o paraffina per impregnare i materassini quando devono essere usati in copertura, per evitare che entrino a contatto con l'umidità.

3.1.3. Lana di vetro e lana di roccia

Il processo di produzione delle fibre minerali consiste nella fusione ad alte temperature del minerale utilizzato e nella lavorazione in fibre, dello spessore compreso tra i 2 e i 20 mm, della massa liquida ottenuta. Le fibre di roccia e di vetro così ottenute rispettivamente dalle rocce d'origine vulcanica (basalto, diabase, dolomite, calcare) e dal vetro recuperato, sono poi ricomposte in materassini, feltri, lastre, usando come legante resine melamminiche o fenoliche in percentuale variabile dall'1 al 10% della massa volumica. Poiché le fibre tendono a diffondersi il prodotto finito è generalmente rivestito da carta kraft, cartone e simili.

Il risultato è un materiale ad alte prestazioni termiche ($\lambda=0{,}039$ W/mK), bassissima resistenza al passaggio di vapore ($\mu=1$), igroscopico, ma che si deteriora a contatto con l'umidità. Inoltre, benché le fibre roccia e di vetro siano ininfiammabili e incombustibili, l'uso di resine sintetiche come legante rende il materiale tossico in caso di incendio.

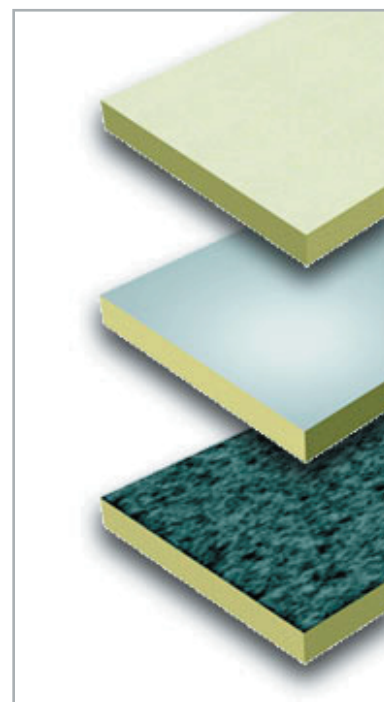
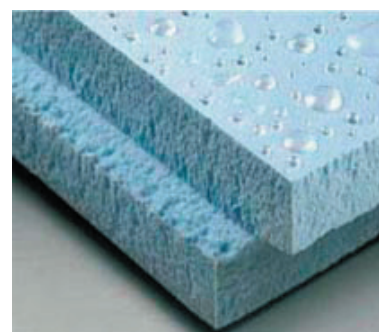
Le fibre sono chimicamente inerti e resistenti a tutti i tipi di agenti chimici e biolo-

gici, tuttavia è sconsigliato l'uso per esterni perchè le fibre stesse si diffondono con grande facilità tanto che per anni si è sospettato che la lana di vetro e la lana di roccia fossero cancerogene[63].
I prodotti ottenuti dalle lane minerali dopo la rimozione non sono riutilizzabili.

3.1.4. Il poliuretano (PUR)

Il poliuretano è un polimero che si presenta sottoforma di schiuma che può essere applicata direttamente a spruzzo sugli elementi costruttivi o utilizzata per realizzare lastre di vari spessori, che si presentano sottoforma di una schiuma dura alveolare, di colore giallastro, rivestita da vari materiali (carta bitumata, velovetro, ecc.) scelti in base all'impiego finale. Il prodotto che si ottiene ha ottime proprietà coibenti ($\lambda=0{,}025$ W/mK), è imputrescibile, resiste a temperature fino ai 250°C, ma è resistente al passaggio del vapore ($30<\mu<100$) e non igroscopico. E' sconsigliato l'uso esterno perché è un materiale sensibile agli UV, ma è sconsigliato anche l'uso interno sia per il rischio di emissioni nocive in caso di incendio, sia perché i gas propellenti utilizzati per schiumare il PUR evaporano molto lentamente e alcuni di questi possono essere nocivi per gli abitanti.
E' un materiale che potrebbe essere riciclato, ma attualmente con un processo troppo complicato e costoso; inoltre, lo smaltimento in discarica è sconsigliabile, per la presenza di sostanze tossiche che potrebbero inquinare le falde idriche e anche il processo di incenerimento produce gas tossici.

3.1.5. Il polistirene espanso (EPS)

Il polistirene è un polimero dello stirene, monomero del petrolio altamente tossico da cui si possono ottenere due prodotti: il polistirene espanso (EPS) e il polistirene estruso (XPS).
Il polistirene espanso si ottiene dall'espansione in due fasi dei granuli di polistirene, sferette di diametro variabile tra 0,2 a 2 mm, cui è aggiunto un gas espandente, il pentano. La prima espansione avviene mettendo le sfere in contatto con vapore a circa 90°C, a questa temperatura il pentano le fa espandere di 20-50 volte, si forma così al loro interno una struttura a celle chiuse che trattiene l'aria e conferisce materiale le sue eccellenti caratteristiche di isolante termico e ammortizzatore di urti. Il secondo processo è la sinterizzazione, espansione ottenuta tramite il vapore acqueo a 110-120°C, che fa saldare le sferette le une con le altre formando le lastre.
La lastra ottenuta si presenta come una schiuma rigida alveolare di colore chiaro con ottime proprietà termiche ($\lambda=0{,}038$ W/mK), incombustibile perchè trattata con additivi antifiamma, quasi impermeabile all'acqua perché è a cellule chiuse, ma mediamente permeabile al vapore ($40<\mu<80$), poco igroscopico e imputrescibile. Bisogna evitare l'esposizione diretta ai raggi UV.

128

129

130

128_ Il poliuretano
129_ Il polistirene
130_ Il vetro riciclato
131_ La fibra di cellulosa

131

Il pentano contenuto nelle sfere evapora entro i 100 giorni dalla produzione, tuttavia in caso di incendio si verificano emissioni nocive dovute agli additivi antifiamma.
Anche in questo caso è meglio evitare lo smaltimento in discarica perché il materiale potrebbe rilasciare sostanze che potrebbero inquinare le falde. Piuttosto l'EPS può essere smaltito attraverso la combustione negli inceneritori, anche se non è sicuro che i gas emessi non siano dannosi, o meglio recuperato e ridotto in granuli per essere impiegato nuovamente per la realizzazione di laterizi porizzati.

3.1.6. Il vetro riciclato

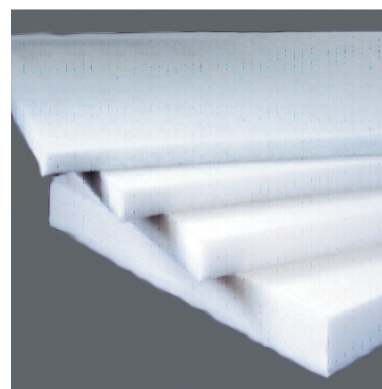
Il vetro cellulare riciclato è un isolante formato per oltre il 50% da vetro riciclato proveniente da lampade al neon, parabrezza di automobili e per il restante da sabbia di quarzo. Il vetro, una volta ridotto in polvere, è addizionato alla polvere di carbonio che, alla temperatura di 1000°C, provoca l'espansione della massa dando origine ad un materiale a celle chiuse.
Il materiale, una volta raffreddato, si presenta in forma di lastre di schiuma rigida di colore scuro, dalle buone proprietà termiche (λ=0,05 W/mK), incombustibile, imputrescibile, resistente agli agenti atmosferici e assolutamente impermeabile.
Nella sua composizione normalmente non si trovano agenti nocivi, quali CFC, HCFC, HFC e a contatto con il fuoco non sviluppa fumi o gas tossici. Può essere smaltito in discarica come materiale inerte, oppure può anche essere riciclato, sottoposto a frantumazione ed impiegato nella realizzazione di sottofondi stradali, riporti, isolamento di cavità o in sostituzione della sabbia nei forni.
Piuttosto i danni ambientali posso derivare dalle alte temperature necessarie alla lavorazione, infatti, i produttori tentano di ridurre i consumi usando stabilimenti in cui si lavora a basse temperature e si utilizza il recupero del calore per produrre energia.

3.1.7. La fibra di cellulosa

La fibra di cellulosa si ottiene quasi totalmente (circa 80%) dal riciclaggio della carta dei quotidiani che, una volta macinata e leggermente compressa, è poi trattata con sali di boro, che la rendono non infiammabile, inattaccabile dalle muffe, dai roditori e dagli insetti.
Il materiale può essere insufflato nelle intercapedini di pareti e coperture, oppure prodotto in lastre e feltri. E' dotato di buone proprietà termiche (λ=0,04 W/mK), ha bassa resistenza al vapore (μ=3,5) ed è igroscopico. Se utilizzato sfuso può essere danneggiato dall'umidità.
In caso di incendio non brucia, ma si carbonizza e quindi frena sensibilmente

l'espansione del fuoco.
E' riutilizzabile e può essere smaltito in discarica o con inceneritori.

3.1.8. La fibra di poliestere

I materassini e i feltri di poliestere riciclato (ad esempio dalle bottiglie di plastica dell'acqua minerale) si ottengono dai filati e dal fiocco di poliestere a fibre intrecciate, senza l'aggiunta di alcun componente chimico o collanti, attraverso un processo di coesione termica.
Il materiale che si ottiene, molto apprezzato per la sua leggerezza, autoportanza e deformabilità, è utilizzabile in controsoffittature, sottotetti, intercapedini di murature, per isolamento termico e acustico. Ha buone proprietà termiche ($0{,}038<\lambda<0{,}54$ W/mK), è permeabile al vapore ($\mu=1{,}7$), imputrescibile, inattaccabile da muffe e roditori, resistente ai raggi UV, certificato in Classe Uno di reazione al fuoco e resistente agli agenti atmosferici.
Inoltre l'innovativa tecnologia di produzione, disponendo le fibre tridimensionalmente conferisce a parità di spessore maggior resilienza, anche impiegando densità minori.
Da un punto di vista ambientale il materiale è completamente riciclabile e il suo impiego non comporta alcuna avvertenza, non rilascia fibre o polveri nell'aria, e atossico e anallergico.

132

132_ La fibra di poliestere
133_ Tabella riassuntiva delle prestazioni dei materiali analizzati

MATERIALI	Conducibilità termica λ	Traspirabilità al vapore μ	Igroscopicità	Deterioramento per umidità	Emissioni nocive	Riciclabilità
Legno mineralizzato	0,09	0,2-0,5	buona	no	no	no
Fibra di legno	0,05	0,5-0,13	buona	si	no	si
Lana di vetro	0,039	1	buona	si	si	no
Lana di roccia	0,039	1	buona	si	si	no
PUR	0,025	30-100	no	no	si	no
EPS	0,038	40-80	bassa	no	si	si
EPS in granuli	0,045	40-80	bassa	no	si	si
Vetro riciclato	0,04-0,05	Impermeabile	no	no	no	si
Fibra di cellulosa	0,04	3,5	buona	si	no	si
Fibra di poliestere riciclato	0,038-0,54	1,7	buona	no	no	si

133

134_ Gli impatti ambientali del legno mineralizzato, valutati secondo le categorie del metodo CML

135_ Gli impatti ambientali della fibra di legno, valutati secondo le categorie del metodo CML

3.2. L'ANALISI LCA IN FASE DI PRODUZIONE

Una volta elaborato il quadro complessivo dei materiali si è quindi proceduto all'analisi LCA per la sola fase di produzione, secondo il metodo illustrato nel capitolo 1. Rispetto al paragrafo precedente è stata introdotta un'ulteriore distinzione riguardo al polistirene e al poliestere in quanto potrebbero essere utilizzati anche sfusi e quindi, mentre le proprietà generali non cambiano, il processo produttivo del materiale sfuso è differente rispetto a quello del materiale assemblato in lastre o materassini.

Di seguito sono quindi riportate prima le undici tabelle che riassumono gli impatti ambientali dei materiali e poi, per determinare quale siano i materiali più o meno inquinanti, i grafici comparativi per ogni emissione.

Legno mineralizzato		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	-0,803
Strato di ozono	kg ODP	0,000000104
Tossicità sull'ecosistema	EC	5,87
Tossicità sull'uomo	HC	0,00168
Eutrofizzazione	kg NP	0,000151
Acidificazione	kg AP	0,00133
Smog estivo	kg POCP	0,000105
Risorse energetiche	MJ LHV	2,17
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x

134

Fibra di legno		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	0,376
Strato di ozono	kg ODP	3,17E-07
Tossicità sull'ecosistema	EC	10,7
Tossicità sull'uomo	HC	0,00671
Eutrofizzazione	kg NP	0,000259
Acidificazione	kg AP	0,00462
Smog estivo	kg POCP	0,00035
Risorse energetiche	MJ LHV	30,1
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x

135

Lana di vetro		
Categoria d’impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	1,43
Strato di ozono	kg ODP	0,000000685
Tossicità sull’ecosistema	EC	39,3
Tossicità sull’uomo	HC	0,00908
Eutrofizzazione	kg NP	0,000892
Acidificazione	kg AP	0,00949
Smog estivo	kg POCP	0,00103
Risorse energetiche	MJ LHV	18,3
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x

136

Lana di roccia		
Categoria d’impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	1,43
Strato di ozono	kg ODP	0,000000685
Tossicità sull’ecosistema	EC	39,3
Tossicità sull’uomo	HC	0,00908
Eutrofizzazione	kg NP	0,000892
Acidificazione	kg AP	0,00949
Smog estivo	kg POCP	0,00103
Risorse energetiche	MJ LHV	18,3
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x

137

Poliuretano (PUR)		
Categoria d’impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	3,84
Strato di ozono	kg ODP	3,6E-07
Tossicità sull’ecosistema	EC	148
Tossicità sull’uomo	HC	0,0348
Eutrofizzazione	kg NP	0,0034
Acidificazione	kg AP	0,0294
Smog estivo	kg POCP	0,00166
Risorse energetiche	MJ LHV	99,8
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0,256

138

136_ Gli impatti ambientali della lana di vetro, valutati secondo le categorie del metodo CML

137_ Gli impatti ambientali della lana di roccia, valutati secondo le categorie del metodo CML

138_ Gli impatti ambientali del poliuretano, valutati secondo le categorie del metodo CML

139_ Gli impatti ambientali del polistirene, valutati secondo le categorie del metodo CML

140_ Gli impatti ambientali del polistirene in granuli, valutati secondo le categorie del metodo CML

141_ Gli impatti ambientali del vetro riciclato, valutati secondo le categorie del metodo CML

Polistirene (EPS)		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	2,61
Strato di ozono	kg ODP	2,41E-08
Tossicità sull'ecosistema	EC	34,6
Tossicità sull'uomo	HC	0,0222
Eutrofizzazione	kg NP	0,00156
Acidificazione	kg AP	0,018
Smog estivo	kg POCP	0,00203
Risorse energetiche	MJ LHV	83,7
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0,0389

139

Polistirene in granuli		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	2,25
Strato di ozono	kg ODP	1,2E-06
Tossicità sull'ecosistema	EC	27,5
Tossicità sull'uomo	HC	0,018
Eutrofizzazione	kg NP	0,00147
Acidificazione	kg AP	0,0148
Smog estivo	kg POCP	0,00703
Risorse energetiche	MJ LHV	78,8
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0,0342

140

Vetro riciclato		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	-0,376
Strato di ozono	kg ODP	-0,00000012 4
Tossicità sull'ecosistema	EC	-2,91
Tossicità sull'uomo	HC	-0,00728
Eutrofizzazione	kg NP	0,000166
Acidificazione	kg AP	-0,00334
Smog estivo	kg POCP	-0,00025
Risorse energetiche	MJ LHV	-3,28
Rifiuti solidi	kg rifiuti	-0,0497

141

Fibra di cellulosa		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	-0,0594
Strato di ozono	kg ODP	1,44E-08
Tossicità sull'ecosistema	EC	-3,87
Tossicità sull'uomo	HC	-0,00029
Eutrofizzazione	kg NP	3,27E-05
Acidificazione	kg AP	-3,6E-05
Smog estivo	kg POCP	5,76E-05
Risorse energetiche	MJ LHV	-26,1
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0,00899

142

Poliestere riciclato (materassini)		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	-0,333
Strato di ozono	kg ODP	-6E-07
Tossicità sull'ecosistema	EC	19,5
Tossicità sull'uomo	HC	0,000222
Eutrofizzazione	kg NP	-0,00076
Acidificazione	kg AP	-0,00171
Smog estivo	kg POCP	-0,00577
Risorse energetiche	MJ LHV	-28,3
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0,0692

143

Poliestere riciclato (fiocchi)		
Categoria d'impatto	Unità	Totale
Effetto serra	kg GWP	-0,4468
Strato di ozono	kg ODP	-6,355E-07
Tossicità sull'ecosistema	EC	16,349
Tossicità sull'uomo	HC	-0,000923
Eutrofizzazione	kg NP	-0,0008001
Acidificazione	kg AP	-0,002579
Smog estivo	kg POCP	-0,0058464
Risorse energetiche	MJ LHV	-31,489
Rifiuti solidi	kg rifiuti	-0,0308

144

142_ Gli impatti ambientali della fibra di cellulosa, valutati secondo le categorie del metodo CML

143_ Gli impatti ambientali del poliestere riciclato (lastre), valutati secondo le categorie del metodo CML

144_ Gli impatti ambientali del del poliestere riciclato (fiocchi), valutati secondo le categorie del metodo CML

145_ Confronto tra i materiali analizzati in base all'effetto serra causato
146_ Confronto tra i materiali analizzati in base alla riduzione dello strato di ozono causata

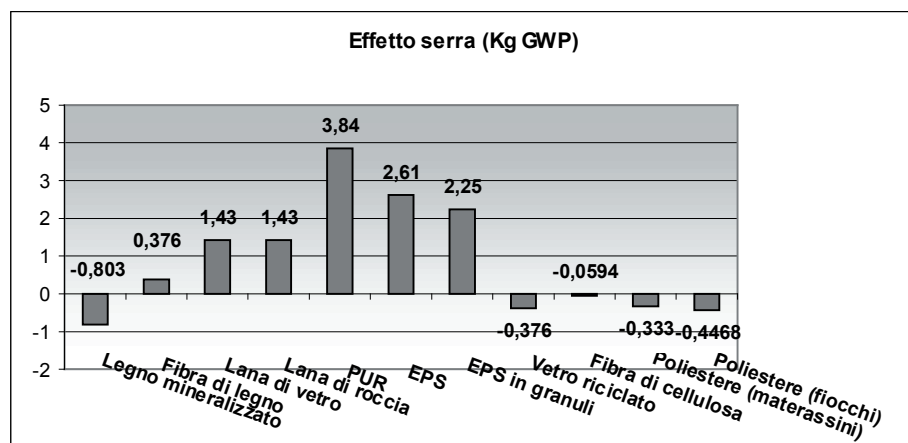
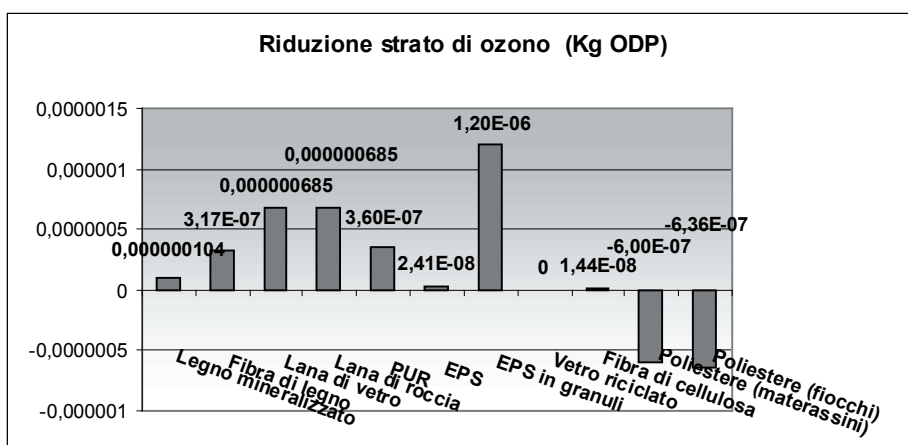
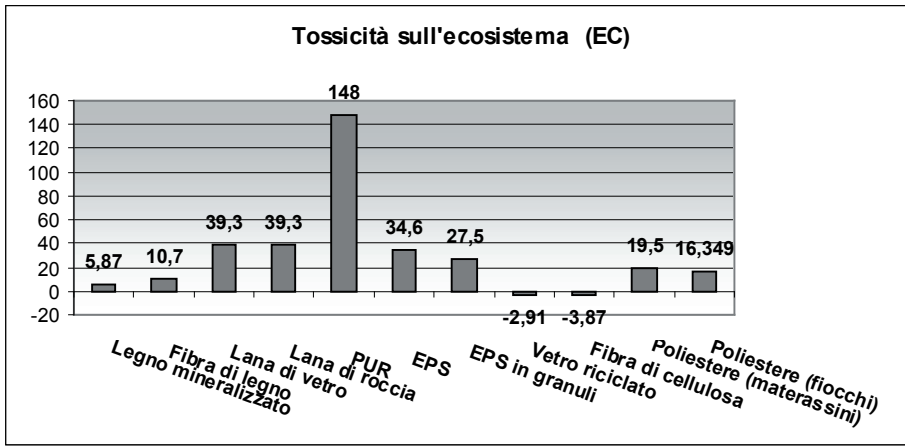
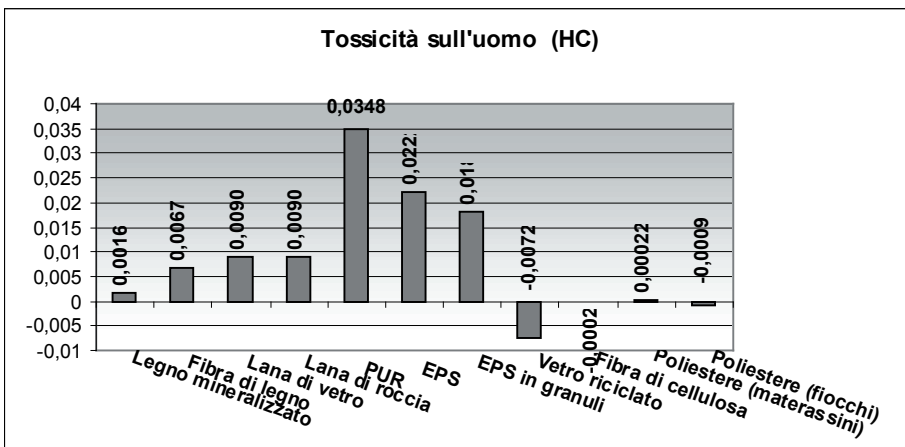
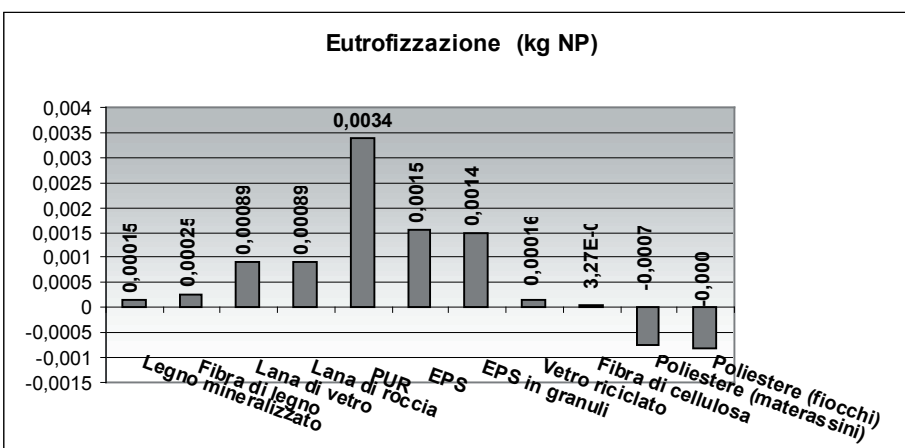
Come era già stato detto nel capitolo sul metodo LCA, può succedere, in particolare con i materiali riciclati, che gli impatti siano negativi, perché il riuso dei materiali riduce gli impatti ambientali in quanto, di fatto, una parte del processo produttivo non è più necessaria. Il calcolo di questa riduzione degli impatti si fa secondo il metodo "del danno evitato" che consiste nell'analizzare il processo produttivo del materiale non riciclato, individuare le emissioni che sono state evitate e sottrarle dal bilancio del processo produttivo del materiale riciclato.
Ovviamente i materiali riciclati hanno quasi tutte le emissioni negative; è però interessante il fatto che anche il legno mineralizzato abbia un impatto negativo, l'effetto serra. Questo è dovuto al fatto che per la sua produzione si usano i materiali di scarto delle segherie, evitando o comunque contenendo l'abbattimento di nuovi alberi e quindi riducendo le emissioni di CO_2, che sono, infatti, negative nell'analisi di inventario.
Dal confronto degli impatti ambientali emerge che generalmente i prodotti meno

145

146

147

148

149

147_ Confronto tra i materiali analizzati in base alla tossicità sull'ecosistema causata
148_ Confronto tra i materiali analizzati in base alla tossicità sull'uomo causata
149_ Confronto tra i materiali analizzati in base alla eutrofizzazione causata

150_ Confronto tra i materiali analizzati in base all'acidificazione causata
151_ Confronto tra i materiali analizzati in base allo smog fotochimico causato
152_ Confronto tra i materiali analizzati in base all'esaurimento di risorse causato

150

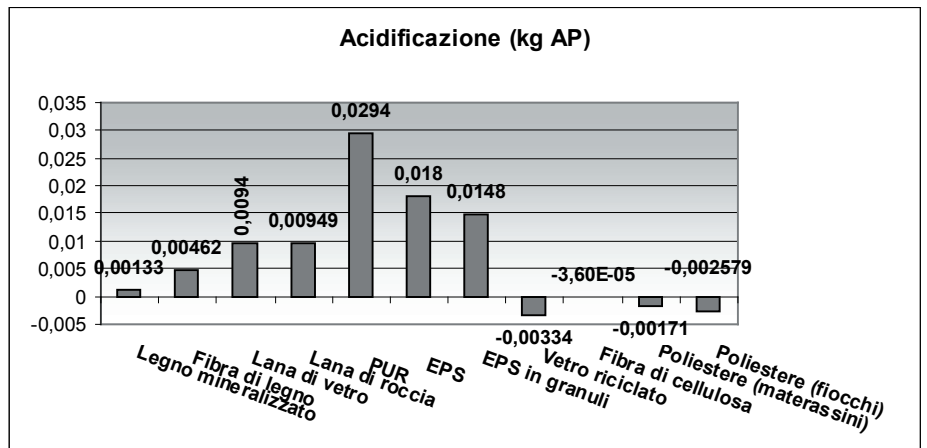
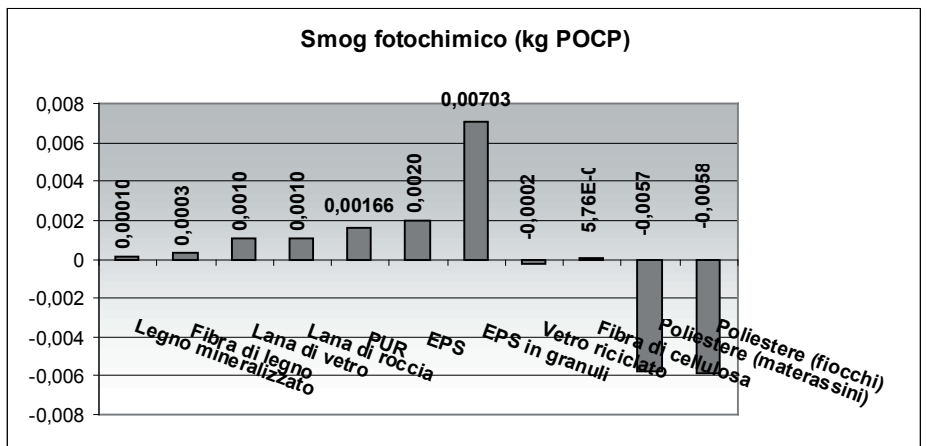
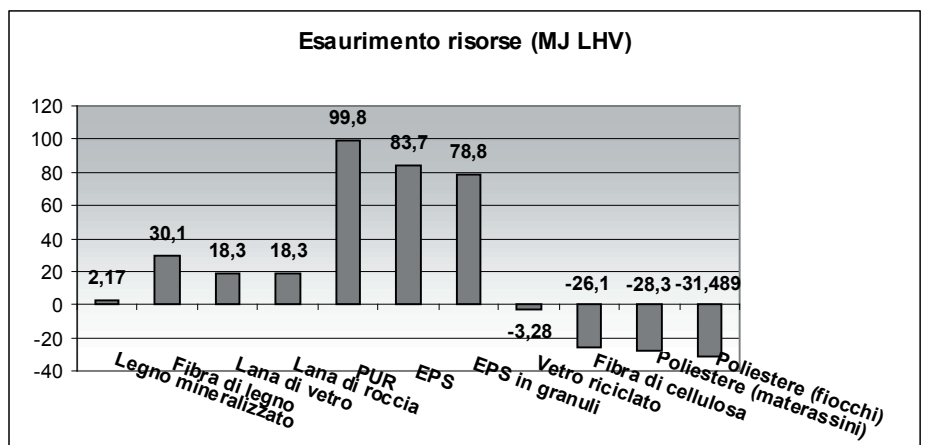
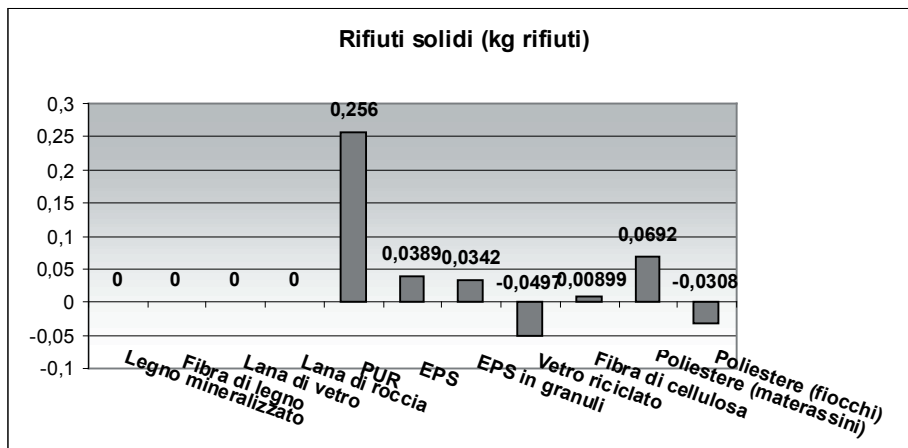
151

152

153

153_ Confronto tra i materiali analizzati in base alla produzione di rifiuti solidi causata

154_ Immagine pubblicitaria che illustra i possibili usi del poliestere riciclato

155_ Immagine pubblicitaria che illustra una possibile soluzione per l'isolamento della chiusura orizzontale di copertura con fibra di legno e legno mineralizzato

dannosi sono quelli riciclati, seguiti da quelli di origine naturale, quindi da quelli di originale minerale. I più nocivi sono quelli di origine sintetica tra i quali, come ci si poteva attendere dalla descrizione discorsiva dei materiali, spicca il poliuretano che ha quasi sempre il valore massimo di emissione.

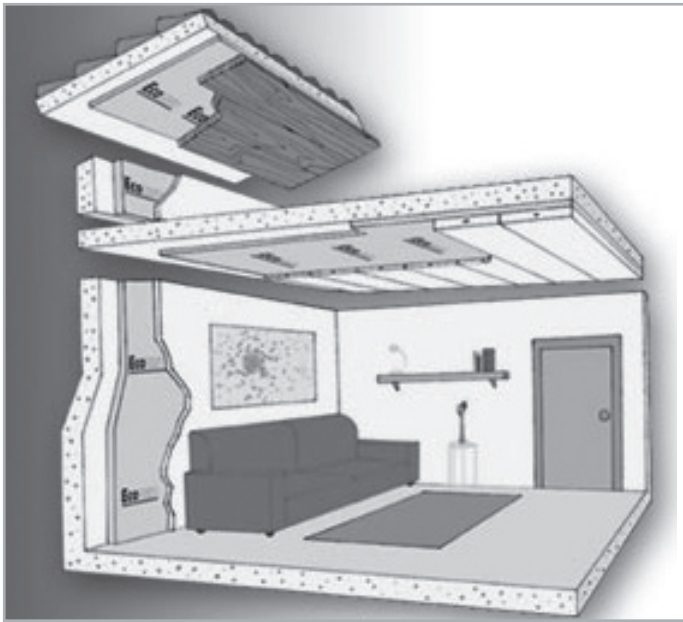
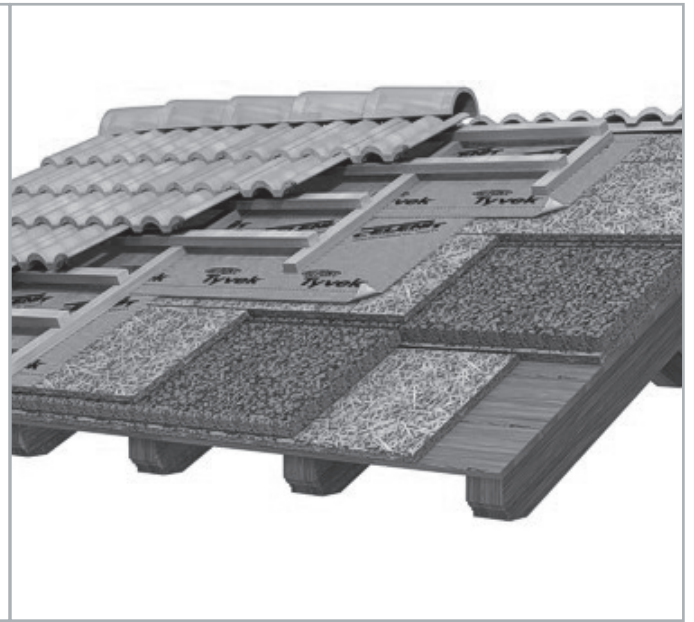
La scelta dovrebbe quindi ricadere su uno dei materiali riciclati. Quale tra questi sia il migliore per gli edifici analizzati si deve determinare valutandone la rispondenza alle prestazioni necessarie per un buon funzionamento termoigrometrico dell'involucro.

I materiali riciclati garantiscono buone prestazioni termiche, paragonabili a quelle del polistirene; tuttavia, il vetro è da scartare perché è assolutamente impermeabile e la fibra di cellulosa si deteriora facilmente a contatto con l'acqua. Al contrario, si è visto che il poliestere ha tutte le caratteristiche fondamentali di un buon isolante e può essere anche usato in materassini, ma anche in fiocchi come riempimento dell'intercapedine dato che non si deteriora in caso di condensa interstiziale.

I produttori garantiscono che è utilizzabile in controsoffittature, sottotetti, intercapedini di murature (la figura (154) è un'immagine pubblicitaria da cui si possono dedurre gli usi consigliati), ma non può essere utilizzato per l'isolamento a cappotto. Conseguentemente è il materiale adatto per l'intervento nell'edificio in via Is Mirrionis dove può essere utilizzato come:

- riempimento per l'intercapedine
- isolante per il solaio tra il settimo piano e il sottotetto e sotto il piano pilotis, in entrambi i casi rivestito da opportuno contro soffitto

Per quanto riguarda il rivestimento della chiusura verticale in corrispondenza della loggia e, nel caso si fosse ritenuto opportuno correggere i ponti termici, è necessario usare un altro materiale, ad esempio la fibra di legno.

Nella casa Serra sarebbe possibile usarlo nel caso si volesse isolare con un cappotto la muratura e rivestirla con uno strato di trachite, ma non si potrebbe di certo utilizzare né per la copertura, né per la chiusura di base; è quindi neces-

154 155

sario in questi casi scegliere un altro materiale.

La fibra di legno mineralizzato è da scartare perché ha valori di conducibilità termica troppo elevati, benché sia poco impattante e resista bene all'azione dell'acqua e degli agenti atmosferici. Un'altra alternativa potrebbe essere la fibra di legno che i produttori garantiscono adatta a molteplici usi:

- chiusure orizzontali da calpestio;
- chiusure orizzontali di copertura;
- chiusure verticali multistrato;
- chiusure verticali con il sistema a cappotto.

Tuttavia non si possono trascurare le reazioni negative al contatto con l'acqua che potrebbero comprometterne l'uso in copertura, tale difficoltà può essere superata componendo le prestazioni del legno mineralizzato con quelle della fibra di legno, come propongono alcune ditte (vedi immagine pubblicitaria, figura (155)): la fibra di legno è protetta da due strati di legno mineralizzato.

Non esiste quindi l'isolante adatto ad ogni caso, ma, come si è visto, il progettista deve essere in grado di scegliere in base a differenti informazioni, legate sia a fattori prestazionali sia a fattori ambientali.

3.3. L'ANALISI LCA IN FASE DI TRASPORTO

Per elaborare una valutazione esauriente dei materiali isolanti è in realtà fondamentale considerare anche l'impatto ambientale legato al trasporto del materiale dallo stabilimento di produzione. In questo caso è particolarmente necessario in quanto i due esempi trattati sono localizzati in un'isola e ovviamente gli impatti ambientali possono cambiare notevolmente in relazione al fatto che l'isolante

sia prodotto o no in Sardegna.
Da una ricerca sul mercato degli isolanti è, infatti, emerso che nella regione sono presenti varie fabbriche di polistirene dislocate su tutto il territorio, solamente una di lana di roccia e una di legno mineralizzato rispettivamente a circa 50 Km e 70 km da Cagliari.
Tutti gli altri materiali presi in considerazione devono essere necessariamente importati dal Nord Italia e in alcuni casi, come ad esempio il vetro riciclato, dal Nord Europa; in particolare il poliestere riciclato, che in seguito all'analisi ambientale e prestazionale era stato valutato il più adatto all'edificio di via Is Mirrionis, deve essere importato dalla provincia di Mantova.
Da un punto di vista delle prestazioni termoigrometriche si è visto che il poliestere riciclato e il polistirene sono sostanzialmente equivalenti in relazione all'edificio in questione, quindi, nell'analisi finora condotta, si è preferito il primo unicamente a causa del profilo ambientale notevolmente migliore. Ma poiché uno dei due materiali è prodotto in Sardegna, mentre l'altro deve essere inviato dalla penisola, per avere un confronto veramente oggettivo, è necessario valutare l'impatto ambientale in relazione al trasporto e vedere quanto questo influisca sulle emissioni complessive.
E' in primo luogo necessario capire quali sono i mezzi più utilizzati per il trasporto delle merci in Sardegna con il supporto di documenti ufficiali come il Piano Regionale Delle Merci del 2001.
Nel Piano è riportato uno studio sull'andamento del trasporto ferroviario dal 1989 al 2000 dal quale emerge un primo periodo di crescita dal 1985 al 1995, grazie all'applicazione di tariffe agevolate per il trasporto merci da e per la Sardegna[64], seguito da un periodo di crisi dal 1995 al 2000, causato dall'abolizione delle tariffe agevolate[65], dalla concorrenza esercitata da altre modalità di trasporto e dalle carenze dell'offerta. Complessivamente le tonnellate movimentate sono passate da 1.097.660 del 1989 a 902.134 del 2000, con un decremento totale del 17,8%.
Anche nel Piano Nazionale dei Trasporti è segnalato il forte squilibrio a favore del trasporto gommato, che nel traffico merci supera il 60% del totale arriva oltre il 90% se si tiene conto anche delle distanze inferiori ai 50 km, con conseguenze negative per la sicurezza e per l'impatto ambientale, inteso sia come fenomeno di larga scala (cambiamenti climatici), sia come fenomeno più localizzato (inquinamento acustico e atmosferico a breve raggio, danni alla stabilità del suolo, all'equilibrio idrogeologico, al paesaggio …).
Sia a livello nazionale che regionale si auspica il potenziamento della rete ferroviaria, tuttavia attualmente l'ipotesi più plausibile per le merci è quella del trasporto gommato.

156_ *Tabella riassuntiva delle emissioni causate dal trasporto misto terra-mare di 20 tonnellate di materiale*
157_ *Tabella riassuntiva delle emissioni causate dal trasporto via terra di 20 tonnellate di materiale per due differenti percorsi*

Per quanto riguarda il percorso dalla penisola si è scelto di combinare il trasporto gommato e il trasporto via mare, in particolare si è scelto di trasportare le merci direttamente dal porto di Genova a quello di Cagliari, in modo da ridurre sia gli impatti ambientali sia i costi.

Il calcolo delle emissioni del trasporto è stato prima effettuato per 20 tonnellate di un generico materiale, utilizzando come unità di misura la tonnellata per chilometro e come mezzi di trasporto la nave da carico e l'autocarro di 28 tonnellate.

Sono quindi state calcolate le distanze tra i luoghi di produzione e l'edificio:

- per il poliestere riciclato è necessario un percorso combinato terra-mare, per un totale di 906,3 Km, di cui 237,3 su strada (provincia di Mantova - porto di Genova) e 669 km via mare (porto di Genova – Cagliari);
- per il polistirene tra i vari stabilimenti sono stati scelti due stabilimenti Sardi, uno a poco meno di 50 Km da Cagliari e uno a poco più di 200 Km, in modo da analizzare il caso più favore e quello meno favorevole.

Sono quindi state analizzate e confrontate le emissioni dei tre percorsi considerati.

Dal confronto è emerso in primo luogo che il percorso via mare è quello che

Percorso terra-mare				
Categoria d'impatto	unità	mare	terra	totale
Effetto serra	kg GWP	113	735	848
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,000127	0,000838	0,000965
Tossicità sull'ecosistema	EC	2820	17400	20220
Tossicità sull'uomo	HC	2,61	11,9	14,51
Eutrofizzazione	kg NP	0,038	1,71	1,748
Acidificazione	kg AP	1,73	10,2	11,93
Smog fotochimico	kg POCP	0,112	1,88	1,992
Esaurimento risorse	MJ LHV	1570	9840	11410
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x	x	x

156

Percorsi via terra			
Categoria d'impatto	unità	terra-50 Km	terra-200 Km
Effetto serra	kg GWP	155	620
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,000177	0,000706
Tossicità sull'ecosistema	EC	3660	14700
Tossicità sull'uomo	HC	2,51	10,1
Eutrofizzazione	kg NP	0,36	1,44
Acidificazione	kg AP	2,14	8,57
Smog fotochimico	kg POCP	0,397	1,59
Esaurimento risorse	MJ LHV	2070	8290
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x	x

157

158

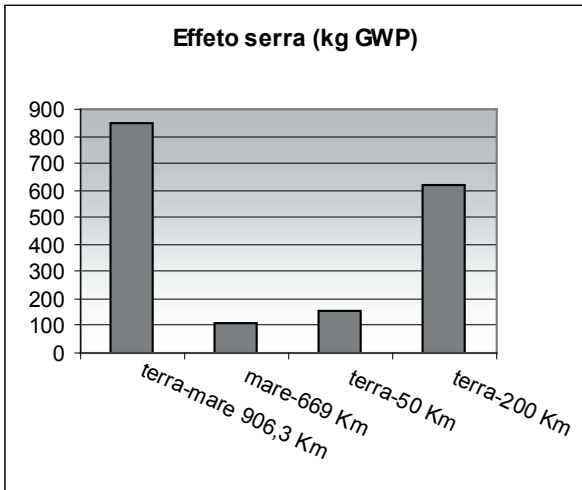
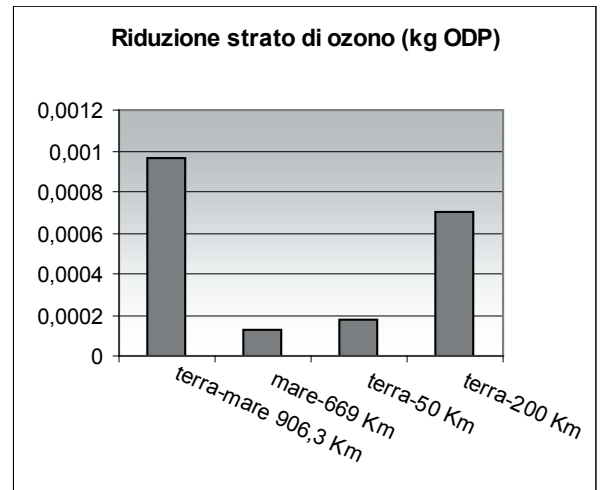
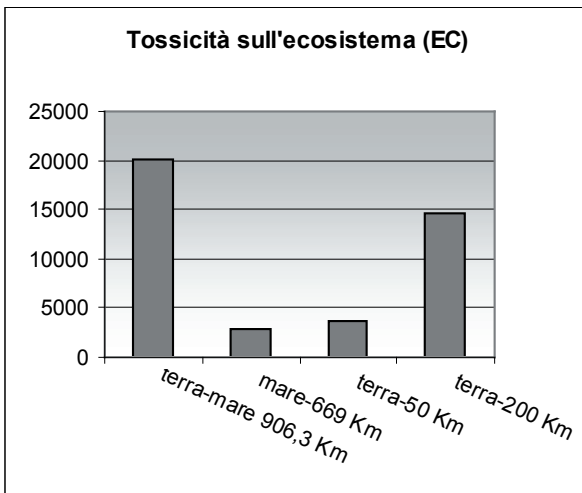
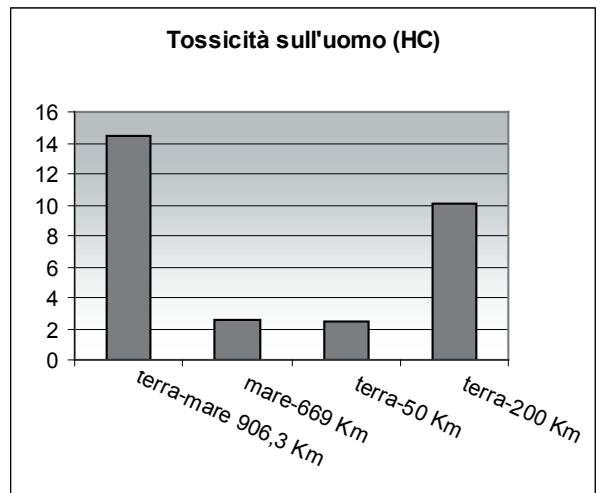
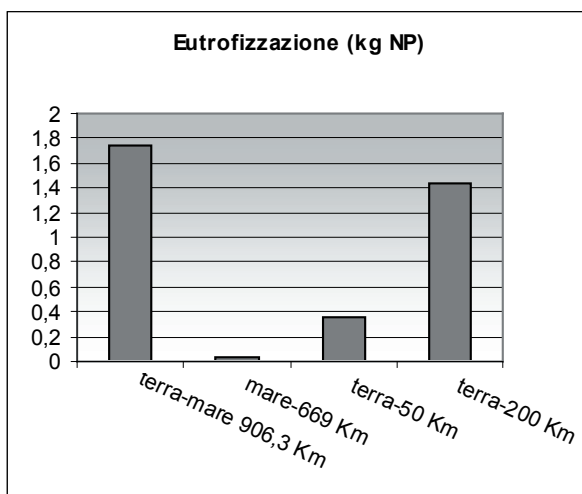
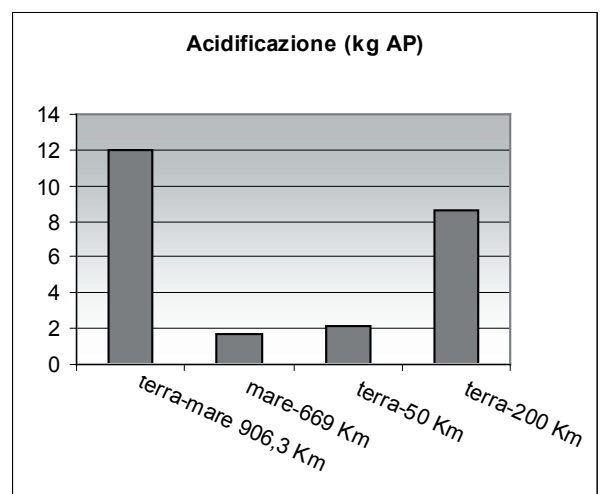
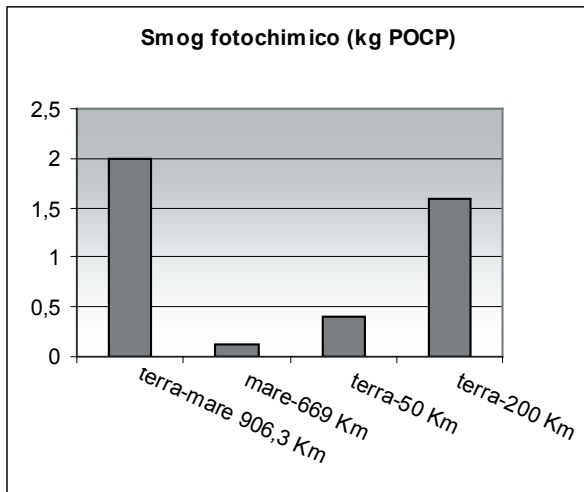
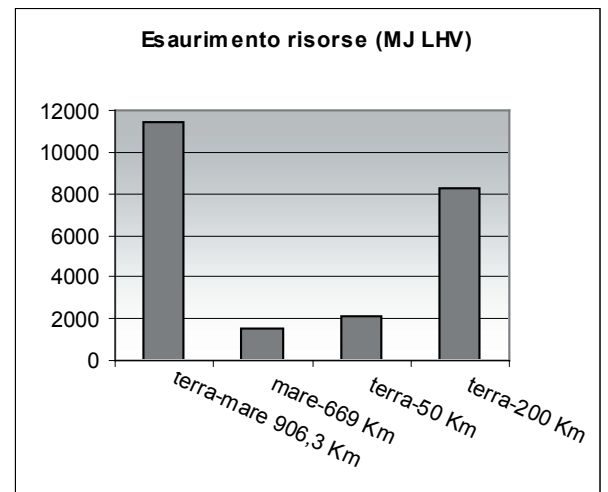
159

160

161

Eutrofizzazione (kg NP)

2
1,8
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0

terra-mare 906,3 Km
mare-669 Km
terra-50 Km
terra-200 Km

162

163

164

165

causa in assoluto le emissioni inferiori, confermando la validitá della scelta di ridurre il più possibile il percorso via terra. Tuttavia, il fatto che lo stabilimento sia distante dal porto di Genova più di 200 Km, rende il trasporto di 20 tonnellate di poliestere molto più inquinante rispetto al trasporto della stessa quantità di polistirene. Poiché l'analisi dell'impatto ambientale dei materiali è stata fatta su un Kg di prodotto è ora necessario sommare gli impatti causati dalla produzione di 20 tonnellate dei due isolanti a quelli causati dal loro trasporto.

I risultati ottenuti mostrano che, già per una quantità di 20 tonnellate, le emissio-

Emissioni totali di 20 tonnellate di polistirene con 50 Km di percorso				
Categoria d'impatto	unità	trasporto	produzione	totale
Effetto serra	kg GWP	155	52100	52255
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,000177	0,000482	0,000659
Tossicità sull'ecosistema	EC	3660	692000	695660
Tossicità sull'uomo	HC	2,51	444	446,51
Eutrofizzazione	kg NP	0,36	31,3	31,66
Acidificazione	kg AP	2,14	360	362,14
Smog fotochimico	kg POCP	0,397	40,6	40,997
Esaurimento risorse	MJ LHV	2070	1670000	1672070
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x	778	778

166

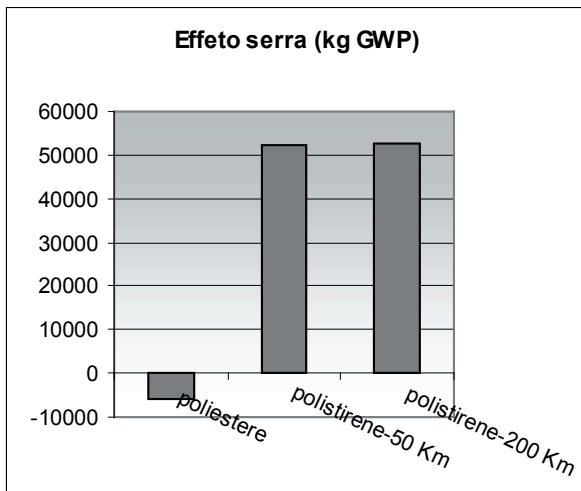
Emissioni totali di 20 tonnellate di polistirene con 200 Km di percorso				
Categoria d'impatto	unità	trasporto	produzione	totale
Effetto serra	kg GWP	620	52100	52720
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,000706	0,000482	0,001188
Tossicità sull'ecosistema	EC	14700	692000	706700
Tossicità sull'uomo	HC	10,1	444	454,1
Eutrofizzazione	kg NP	1,44	31,3	32,74
Acidificazione	kg AP	8,57	360	368,57
Smog fotochimico	kg POCP	1,59	40,6	42,19
Esaurimento risorse	MJ LHV	8290	1670000	1678290
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x	778	778

167

158_ Confronto tra i percorsi in base all'effetto serra causato
159_ Confronto tra i percorsi in base alla riduzione dello strato di ozono causata
160_ Confronto tra i percorsi in base alla tossicità sull'ecosistema causata
161_ Confronto tra i percorsi in base alla tossicità sull'uomo causata
162_ Confronto tra i percorsi in base alla eutrofizzazione causata
163_ Confronto tra i percorsi in base all'acidificazione causata
164_ Confronto tra i percorsi in base allo smog fotochimico causato
165_ Confronto tra i percorsi in base all'esaurimento di risorse causato
166_ Tabella riassuntiva delle emissioni causate da 20 tonnellate di polistirene compreso il trasporto via terra di 50 Km
167_ Tabella riassuntiva delle emissioni causate da 20 tonnellate di polistirene compreso il trasporto via terra di 200 Km

Emissioni totali di 20 tonnellate di poliestere				
Categoria d'impatto	unità	trasporto	produzione	totale
Effetto serra	kg GWP	848	-6670	-5822
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,000965	-0,012	-0,01104
Tossicità sull'ecosistema	EC	20220	390000	410220
Tossicità sull'uomo	HC	14,51	4,45	18,96
Eutrofizzazione	kg NP	1,748	-15,3	-13,552
Acidificazione	kg AP	11,93	-34,2	-22,27
Smog fotochimico	kg POCP	1,992	-115	-113,008
Esaurimento risorse	MJ LHV	11410	-567000	-555590
Rifiuti solidi	kg rifiuti	x	1380	1380

168

168_ Tabella riassuntiva delle emissioni causate da 20 tonnellate di poliestere compreso il trasporto via terra e via mare
169_ Confronto tra l'effetto serra causato dal polistirene e quello causato dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione
170_ Confronto tra la riduzione dello strato di ozono causata dal polistirene e quella causata dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione
171_ Confronto tra la tossicità sull'ecosistema causata dal polistirene e quella causata dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione
172_ Confronto tra la tossicità sull'uomo causata dal polistirene e quella causata dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione

169

170

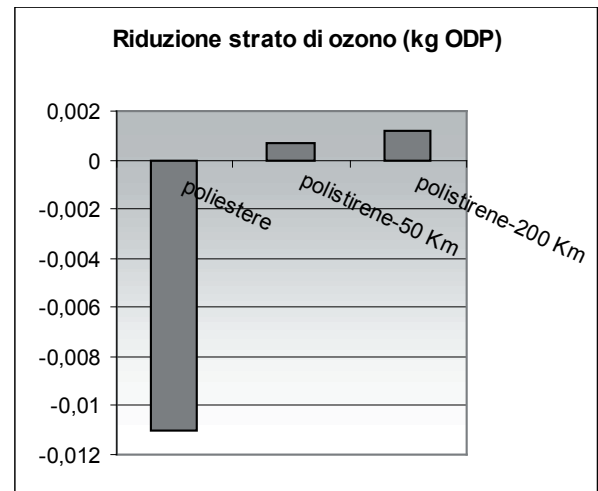
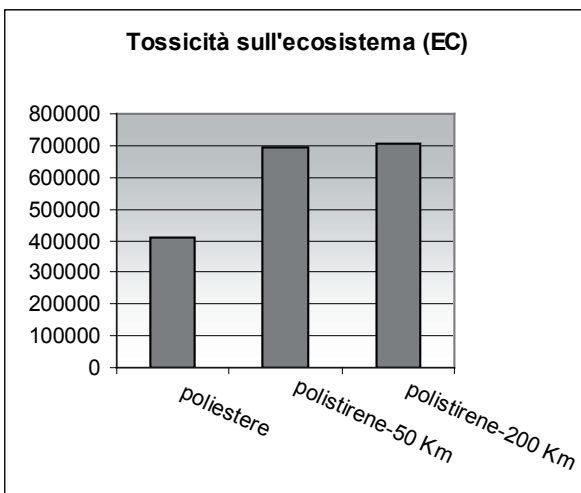
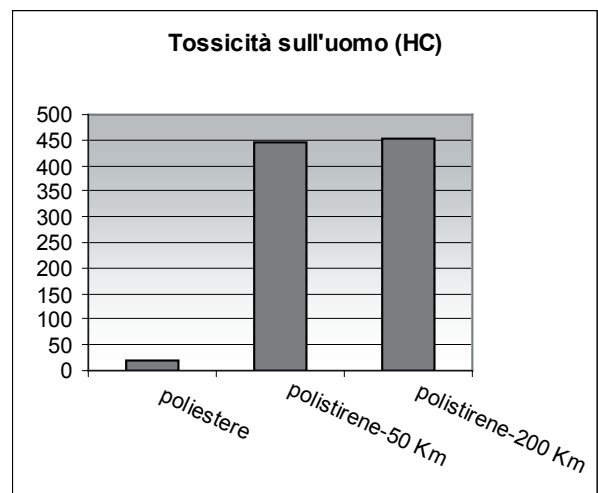
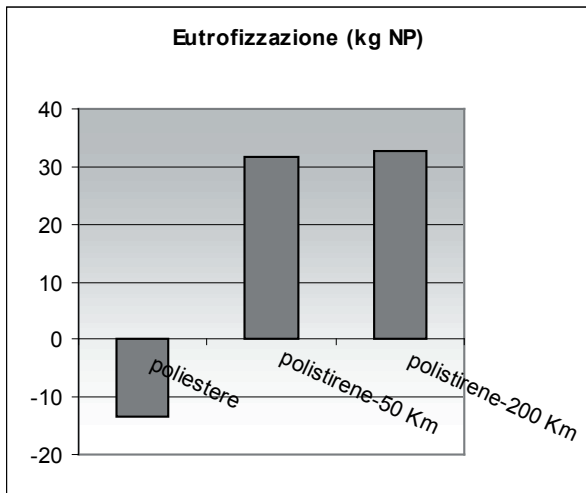
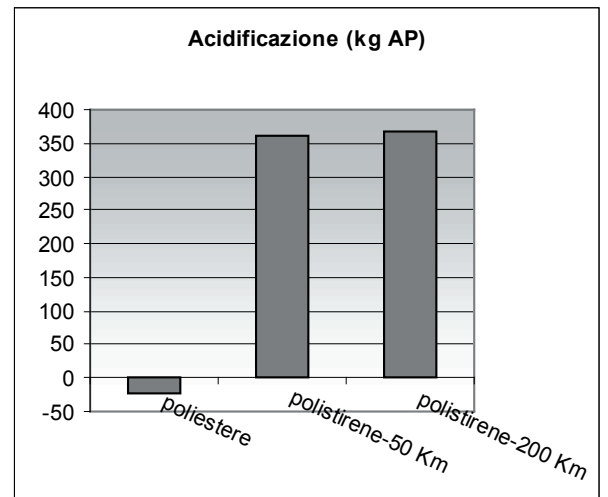
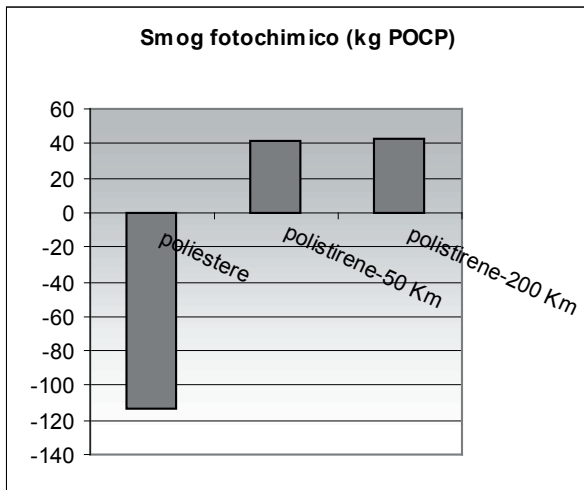
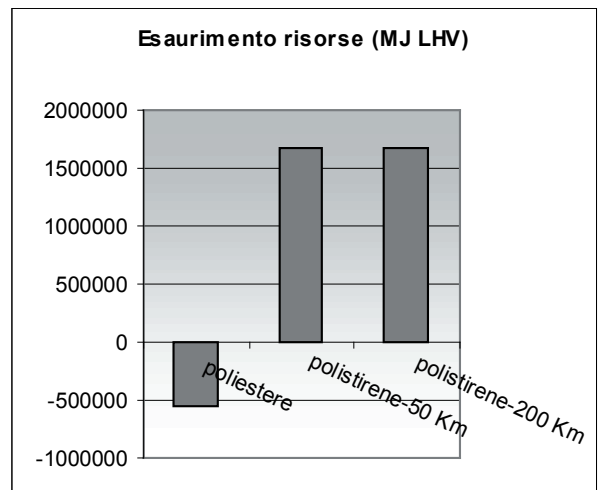
171

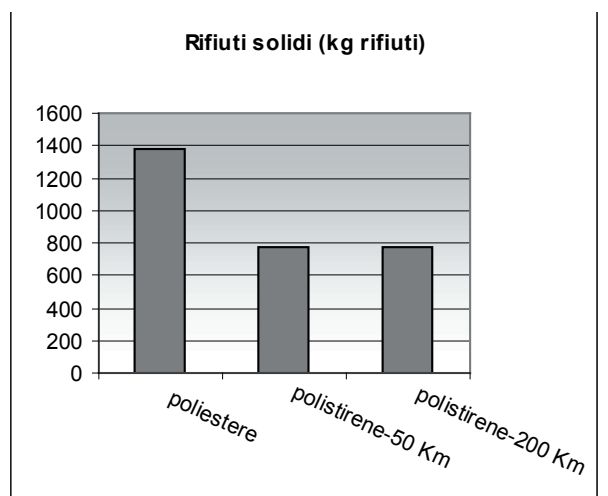
172

173

174

175

Esaurimento risorse (MJ LHV)
2000000
1500000
1000000
500000
0
-500000
-1000000
poliestere
polistirene-50 Km
polistirene-200 Km

176

173_ Confronto tra l'eutrofizzazione causata dal polistirene e quella causata dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione
174_ Confronto tra l'acidificazione causata dal polistirene e quella causata dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione
175_ Confronto tra lo smog fotochimico causato dal polistirene e quello causato dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione
176_ Confronto tra l'esaurimento di risorse causato dal polistirene e quello causato dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione
177_ Confronto tra la produzione di rifiuti solidi causata dal polistirene e quella causata dal poliestere, compreso il percorso per la distribuzione

177

ni in fase di trasporto sono quasi trascurabili; infatti, osservando i grafici, la differenza di emissioni tra il polistirene che ha percorso un tragitto di 50 Km e quello che ne ha percorso uno di 200 Km sono impercettibili. Al contrario, le emissioni del poliestere riciclato sono nettamente inferiori, ad eccezione dei rifiuti solidi che erano già maggiori in fase di produzione, e inoltre, escluse la tossicità per l'uomo e l'ecosistema, negative.
Il giudizio positivo espresso sul poliestere nel paragrafo precedente è quindi confermato anche considerando il contributo dei trasporti, inoltre le emissioni sarebbe comunque inferiori agli altri due materiali anche utilizzandolo a Samugheo (percorso più lungo di circa 100 Km).
Per quanto riguarda la Casa Serra si era ipotizzato di utilizzare legno mineralizzato, prodotto a circa 50 Km da Samugheo, e fibra di legno, prodotta nel Nord Italia (lo stabilimento di uno dei maggiori produttori italiani dista dall'edificio considerato circa 1150 Km).
Per riassumere brevemente i risultati ottenuti in questo caso, è stata riportata una tabella riassuntiva degli impatti ambientali di produzione e trasporto di tutte le ipotesi fatte per la casa Serra, tenendo conto che in questo caso il percorso necessario al trasporto del polistirene varia dai 70 Km ai 150Km.
Il legno mineralizzato avendo impatti, sia di produzione sia di trasporto, ridotti è indubbiamente meno inquinante del polistirene. Anche la fibra di legno pur avendo essendo prodotta nello stabilimento più distante produce complessivamente emissioni inferiori rispetto alle materie plastiche, eccezion fatta per la riduzione dell'ozono che era comunque superiore anche in fase di produzione.
In conclusione, i materiali riciclati e quelli naturali causano impatti ambientali inferiori rispetto alle materie plastiche anche considerando il trasporto dal Nord Italia alla Sardegna. Infatti, non solo l'inquinamento in fase di produzione è molto inferiore, ma quello dovuto al trasporto è in parte ammortizzato dai grandi cari-

178_ Tabella riassuntiva delle emissioni causate da 20 tonnellate di polistirene, poliestere, legno mineralizzato e fibra di legno compreso il trasporto fino alla casa Serra

Confronto materiali - Casa Serra						
Categoria d'impatto	unità	polistirene 70 Km	polistirene 150 Km	poliestere 1000 Km	legno mineralizzato 50 Km	Fibra di legno 1150 Km
Effetto serra	kg GWP	52317	52565	-5512	-15905	9143
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,000729	0,001013	-0,010681	0,002257	0,008188
Tossicità sull'ecosistema	EC	697130	702980	417540	121060	252580
Tossicità sull'uomo	HC	447,52	451,53	23,98	36,11	161,32
Eutrofizzazione	kg NP	31,803	32,38	-12,832	3,38	8,728
Acidificazione	kg AP	363	366,42	-17,99	28,74	115,04
Smog fotochimico	kg POCP	41,156	41,791	-112,214	2,497	10,979
Esaurimento risorse	MJ LHV	1672900	1676210	-551450	45470	623770
Rifiuti solidi	kg rifiuti	778	778	1380	x	x

178

chi delle navi cargo e indubbiamente sostituire il trasporto su gomma con quello ferroviario lo ridurrebbe ulteriormente. A tale proposito, sarebbe interessante capire se il trasporto delle merci dal Nord al Sud Italia, effettuato completamente sugli autocarri, inciderebbe così poco sugli impatti ambientali complessivi.
La scelta di un materiale dipende da tante considerazioni non trascurabili perché, anche se negli esempi non si è verificato, variabili che non sono legate alle proprietà dei materiali, come la dislocazione degli stabilimenti, potrebbero influenzare il complessivo bilancio ambientale.

4. CONFRONTO TRA FASE DI GESTIONE E DI PRODUZIONE

Una volta analizzato il comportamento energetico degli edifici al variare dell'isolamento e le emissioni in fase di produzione di alcuni materiali isolanti, il passo successivo è lo studio del rapporto che intercorre tra le emissioni in fase di gestione e quelle in fase di produzione.

In questo caso è opportuno considerare il fabbisogno di energia primaria calcolato secondo il prEN 15315; infatti, per il calcolo delle emissioni, è fondamentale sapere quale sia l'effettiva energia consumata per mettere a disposizione dell'utenza 1 KWh.

Poiché si è supposto di utilizzare una pompa di calore alimentata dalla rete o una caldaia a gas naturale è stato in primo luogo necessario valutare gli impatti causati da 1 KWh di energia elettrica e da 1 kWh prodotto con gas naturale.

Emissioni per 1 kWh			
Categoria d'impatto	unità	1 kWh di energia elettrica	1 kWh di gas naturale
Effetto serra	kg GWP	0,680192308	0,03530522
Riduzione strato di ozono	kg ODP	7,1978E-07	1,6519E-08
Tossicità sull'ecosistema	EC	16,01510989	0,712582418
Tossicità sull'uomo	HC	0,008205495	0,000207297
Eutrofizzazione	kg NP	0,000202618	1,39637E-05
Acidificazione	kg AP	0,005326374	0,000149714
Smog fotochimico	kg POCP	0,000399478	4,5706E-05
Esaurimento risorse	MJ LHV	9,932967033	4,066758242
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0	0

179

179_ Tabella riassuntiva delle emissioni causate da 1kWh fornito dalla rete elettrica nazionale e 1kWh prodotto con gas naturale

Le emissioni causate dall'energia elettrica fornita dalla rete nazionale sono di circa venti volte superiori rispetto a quelle causate dall'energia ottenuta dal gas naturale, quindi, come si può desumere dalla tabella (180), mentre a parità di dispersioni il fabbisogno di energia primaria legata all'uso della pompa di calore è inferiore rispetto a quello della caldaia, invece le emissioni causate dalla pompa di calore sono notevolmente superiori.

Nella tabella (180) sono rappresentate le emissioni causate da una stagione di riscaldamento della casa Serra in tre delle sei configurazioni isolate studiate: l'ipotesi 2, l'ipotesi 4 e l'ipotesi 6.

Emissioni per una stagione di riscaldamento - Casa Serra							
Categoria d'impatto	unità	ipotesi2		ipotesi 4		ipotesi 6	
		pompa di calore	caldaia	pompa di calore	caldaia	pompa di calore	caldaia
Effetto serra	kg GWP	23213,49147	1964,869164	22621,56	1914,766	11921,84	1009,105
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,024564541	0,000919342	0,023938	0,000896	0,012616	0,000472
Tossicità sull'ecosistema	EC	546561,0426	39657,90972	532624,1	38646,66	280699,4	20367,26
Tossicità sull'uomo	HC	280,0357702	11,53684646	272,895	11,24266	143,819	5,925022
Eutrofizzazione	kg NP	6,914918359	0,777134797	6,738593	0,757318	3,551321	0,399116
Acidificazione	kg AP	181,7776052	8,332166891	177,1424	8,119702	93,35621	4,279182
Smog fotochimico	kg POCP	13,63332039	2,543714411	13,28568	2,478851	7,001716	1,306385
Esaurimento risorse	MJ LHV	338990,6691	226330,4949	330346,6	220559,2	174096,7	116237,4
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0	0	0	0	0	0

180

Sono state calcolate le variazioni di emissioni tra l'ipotesi 2 e la 4 e tra l'ipotesi 2 e la 6. L'ipotesi 2, con un basso livello di isolamento, è stata considerata la configurazione base in modo da capire cosa succede se si aumentano le prestazioni della copertura, ipotesi 4, o se invece si isola la chiusura verticale, ipotesi 6.

Variazione emissioni per una stagione di riscaldamento - Casa Serra					
Categoria d'impatto	unità	Δ(ipotesi2-4)		Δ(ipotesi2-6)	
		pompa di calore	caldaia	pompa di calore	caldaia
Effetto serra	kg GWP	591,9282778	50,10283013	11291,65	955,7639
Riduzione strato di ozono	kg ODP	0,000626379	2,34426E-05	0,011949	0,000447
Tossicità sull'ecosistema	EC	13936,93564	1011,249783	265861,6	19290,65
Tossicità sull'uomo	HC	7,140722082	0,294181755	136,2167	5,611825
Eutrofizzazione	kg NP	0,176325725	0,01981641	3,363598	0,378019
Acidificazione	kg AP	4,635205562	0,212464601	88,42139	4,052984
Smog fotochimico	kg POCP	0,347640417	0,064862991	6,631604	1,237329
Esaurimento risorse	MJ LHV	8644,031994	5771,274011	164893,9	110093,1
Rifiuti solidi	kg rifiuti	0	0	0	0

181

Come si è già visto nell'analisi energetica, la configurazione meno inquinante è l'ipotesi 6, ovviamente però il passaggio dall'ipotesi 2 alla 4 o alla 6 comporta un aumento di isolante e quindi di inquinamento in fase di produzione.

E' stata quindi calcolata la variazione delle emissioni in fase di produzione, comprendendo ovviamente anche quelle del trasporto per la distribuzione: in primo luogo sono stati stimati i kg di polistirene necessari per isolare la casa Serra nelle tre configurazioni e poi le emissioni conseguenti considerando il trasporto sia dallo stabilimento distante 70 Km sia da quello distante 150 Km.

L'analisi è stata condotta sul polistirene perché si è visto che è un materiale molto inquinante, ma dalle ottime prestazioni e quindi molto diffuso in edilizia. E'

180_ Tabella riassuntiva delle emissioni causate da una stagione di riscaldamento della casa Serra considerando l'edificio isolato secondo l'ipotesi 2, 4 e 6 e riscaldato con pompa di calore o caldaia

181_ Tabella riassuntiva della riduzione di emissioni, dovuta al passaggio dall'ipotesi 2 alla 4 e dall'ipotesi 2 alla 6, considerando l'edificio riscaldato con pompa di calore o caldaia

dunque molto interessante verificarne le emissioni in relazione alle prestazioni degli elementi di fabbrica e all'efficienza dell'edificio.

Al contrario il poliestere riciclato ha quasi tutti gli impatti negativi; conseguentemente, aumentando la quantità di isolante le emissioni si ridurrebbero ulteriormente e si arriverebbe alla conclusione che aumentare la quantità di isolante riduce le emissioni in fase di produzione. Ovviamente, questo discorso potrebbe essere valido solo per i materiali riciclati, ma di certo non ha alcuna utilità per valutare le emissioni legate ai materiali inquinanti che è invece lo scopo di questa parte dello studio.

Emissioni produzione del polistirene - Casa Serra							
Categoria d'impatto	unità	ipotesi2		ipotesi 4		ipotesi 6	
		polistirene 70 Km	polistirene 150 Km	polistirene 70 Km	polistirene 150 Km	polistirene 70 Km	polistirene 150 Km
Effetto serra	kg GWP	664,687485	667,838325	1234,42	1240,271	1700,564	1708,625
Riduzione strato di ozono	kg ODP	9,26195E-06	1,28702E-05	1,72E-05	2,39E-05	2,37E-05	3,29E-05
Tossicità sull'ecosistema	EC	8857,03665	8931,3609	16448,78	16586,81	22660,21	22850,36
Tossicità sull'uomo	HC	5,6857416	5,73668865	10,55923	10,65385	14,54664	14,67698
Eutrofizzazione	kg NP	0,404057115	0,4113879	0,750392	0,764006	1,033757	1,052512
Acidificazione	kg AP	4,611915	4,6553661	8,564985	8,64568	11,79932	11,91048
Smog fotochimico	kg POCP	0,52288698	0,530954655	0,971076	0,986059	1,337776	1,358416
Esaurimento risorse	MJ LHV	21254,1945	21296,24805	39472,08	39550,17	54377,61	54485,21
Rifiuti solidi	kg rifiuti	9,88449	9,88449	18,35691	18,35691	25,28889	25,28889

182

E' stato quindi calcolato l'aumento di emissioni per il solo polistirene trasportato da uno stabilimento distante 70 Km, in quanto non si sono rilevate differenze significative rispetto a quello che percorre un tragitto più lungo.

Variazione emissioni produzione del polistirene (70 Km) - Casa Serra			
Categoria d'impatto	unità	Δ(ipotesi2-4)	Δ(ipotesi2-6)
Effetto serra	kg GWP	569,73213	1035,8766
Riduzione strato di ozono	kg ODP	7,93881E-06	1,44342E-05
Tossicità sull'ecosistema	EC	7591,7457	13803,174
Tossicità sull'uomo	HC	4,8734928	8,860896
Eutrofizzazione	kg NP	0,34633467	0,6296994
Acidificazione	kg AP	3,95307	7,1874
Smog fotochimico	kg POCP	0,44818884	0,8148888
Esaurimento risorse	MJ LHV	18217,881	33123,42
Rifiuti solidi	kg rifiuti	8,47242	15,4044

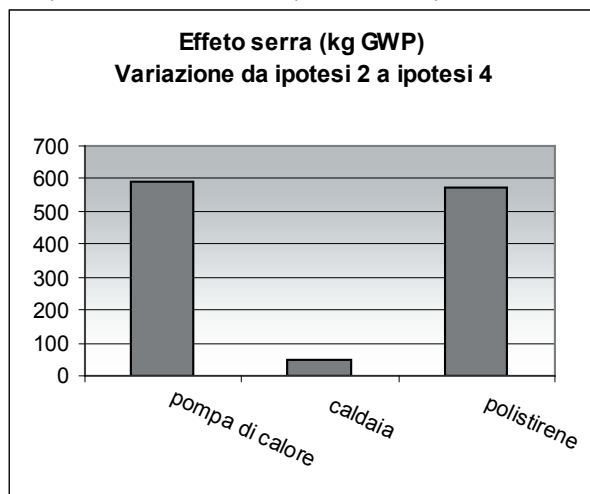
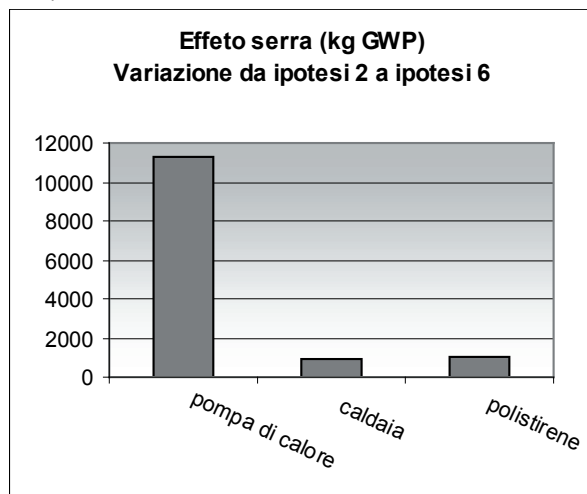
183

182_ Tabella riassuntiva delle emissioni causate dal materiale necessario per isolare la casa Serra nell'ipotesi 2, 4 e 6

183_ Tabella riassuntiva dell'aumento di emissioni dovuta all'aumento di isolante nel passaggio dall'ipotesi 2 alla 4 e dall'ipotesi 2 alla 6

Infine è stata confrontata la riduzione delle emissioni dovuta alla maggiore efficienza dell'edificio, dovuta al miglioramento delle prestazioni degli elementi di fabbrica, con l'aumento delle emissioni causato dalla maggiore quantità di isolante utilizzato.

In questo modo è stato possibile capire se effettivamente l'intervento previsto

184, 186,188, 190, 192, 194, 196, 198_ Grafici rappresentanti il confronto tra la riduzione di emissioni per il riscaldamento e l'aumento di emissioni per l'isolante, dovuta al passaggio dall'ipotesi 2 alla 4 , considerando l'edificio riscaldato con pompa di calore o caldaiala

184

185

186

187

188

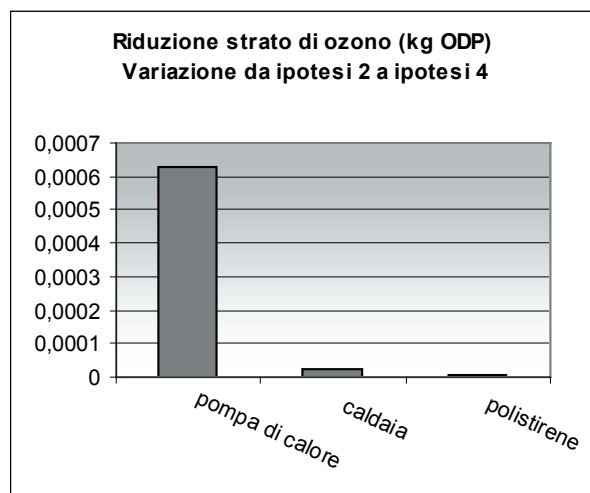
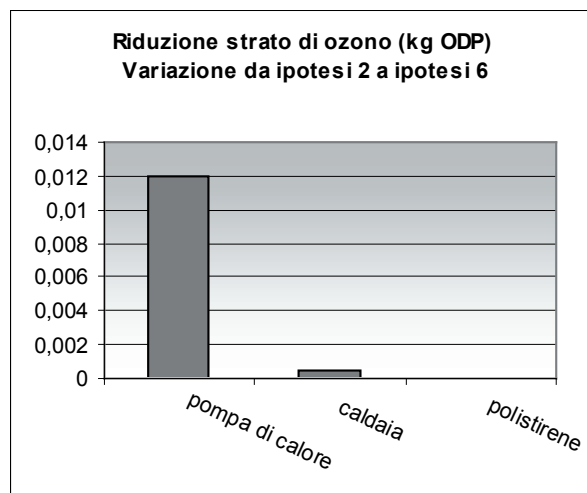
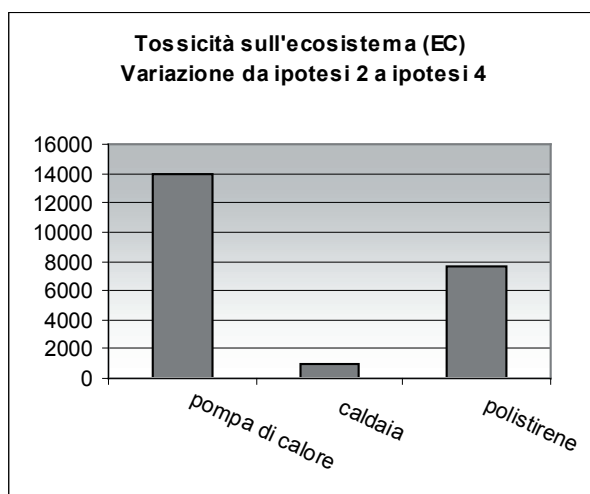
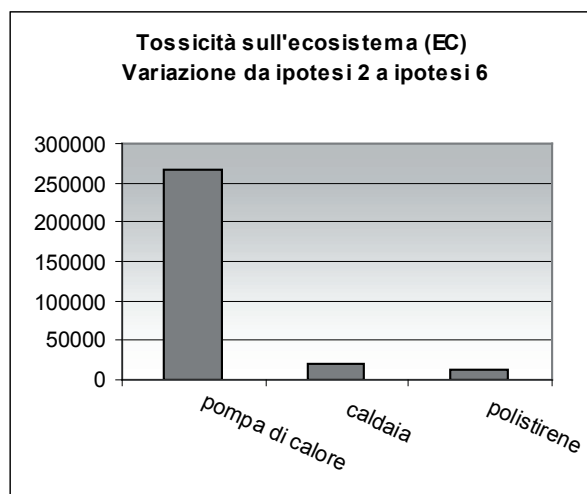
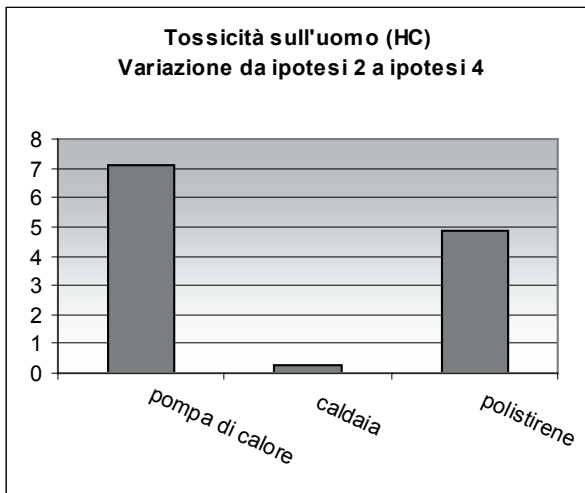
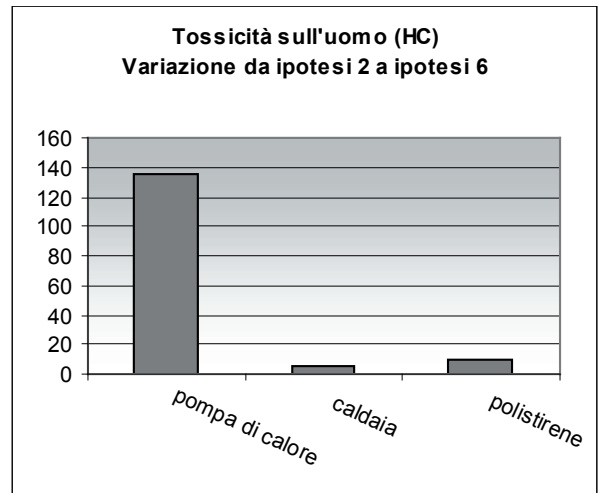
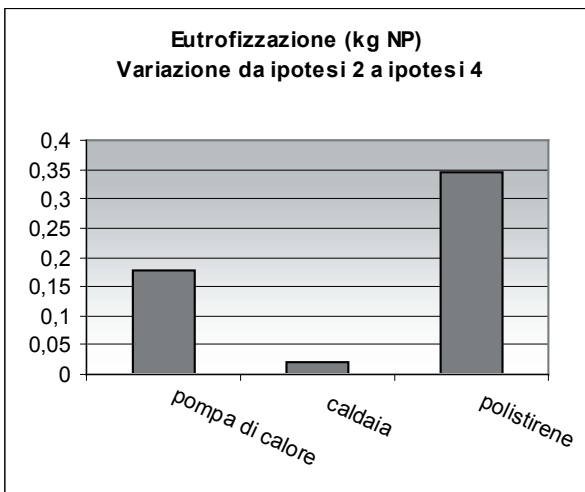
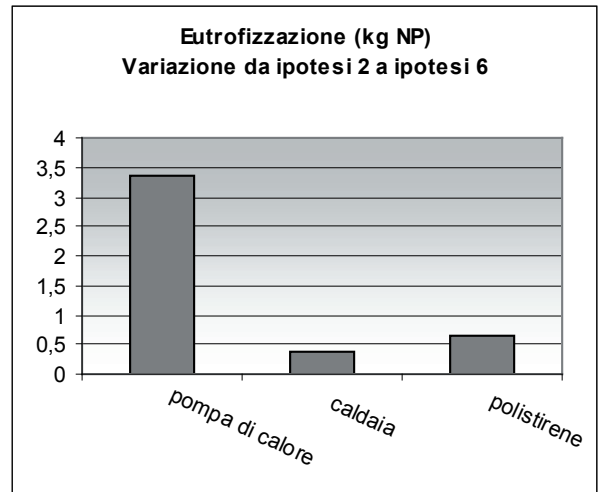
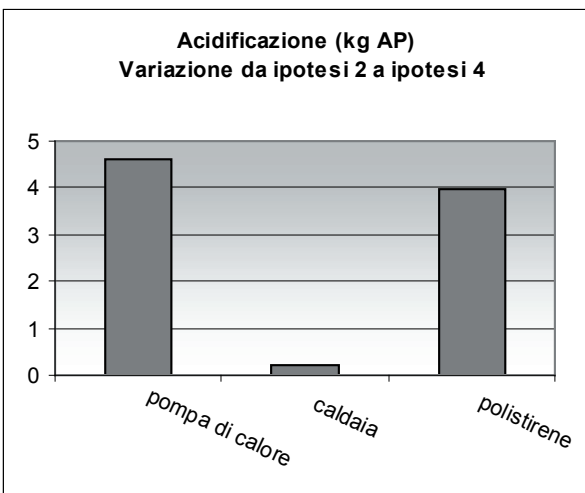
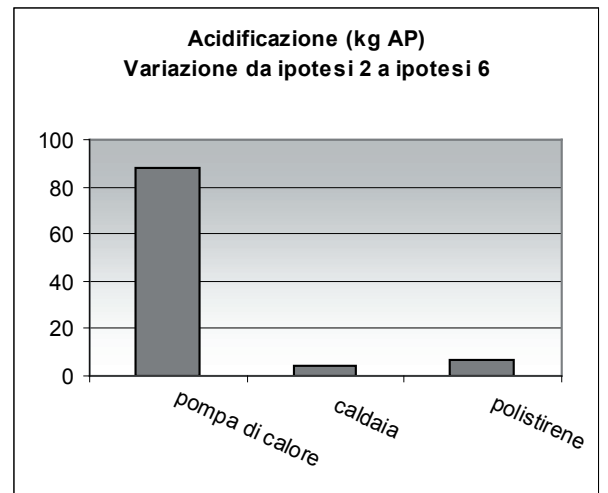
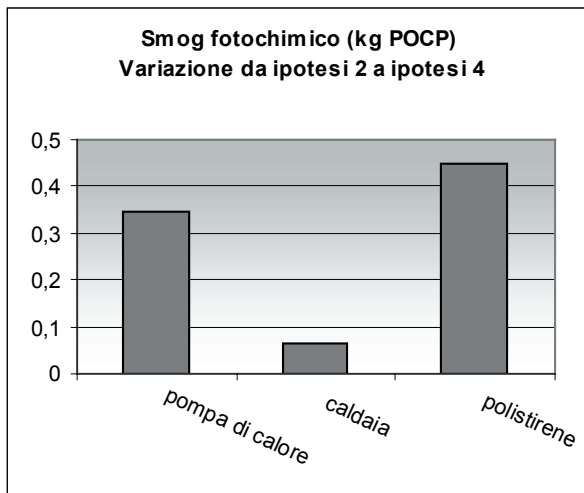
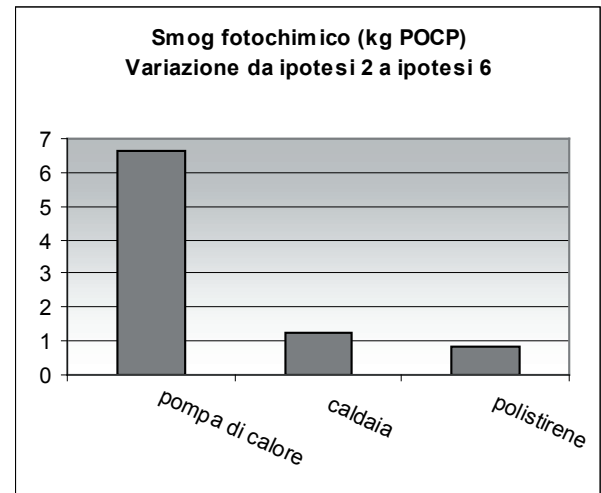
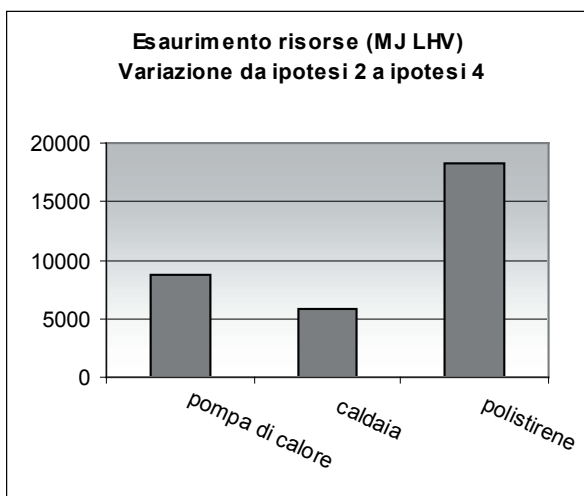
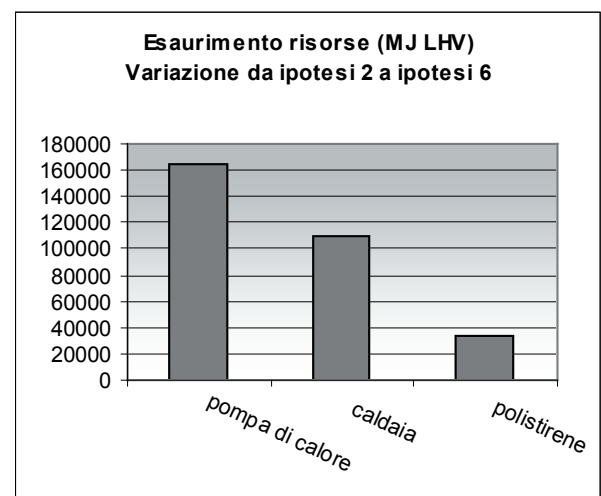
189

190

191

Eutrofizzazione (kg NP)
Variazione da ipotesi 2 a ipotesi 4

0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0

pompa di calore
caldaia
polistirene

192

193

194

195

196

197

198

199

nell'ipotesi 4 e quello previsto nell'ipotesi 6 siano veramente convenienti da un punto di vista ambientale. Si può, infatti, verificare se l'aumento di emissioni in fase di produzione sia inferiore o superiore alla riduzione delle emissioni in fase di gestione e, nel caso sia superiore in quanto tempo sia ammortizzabile.
I confronti tra variazioni di emissioni in fase di produzione e di gestione sono stati effettuati per ogni categoria di impatto.
Una prima conclusione che si può fare osservando i risultati ottenuti è che l'ipotesi 6 è indubbiamente molto migliore rispetto alla 4. Infatti, pur essendo necessaria una maggiore quantità di isolante e quindi emissioni in fase di produzione in valore assoluto maggiori rispetto a quelle dell'ipotesi 4, tuttavia causa una riduzione delle emissioni in fase di gestione talmente alta da ammortizzare l'aumento di emissioni in fase di produzione in pochissimo tempo. Più precisamente il tempo di ammortamento se si utilizza una caldaia a gas è di circa un anno, mentre la riduzione delle emissioni causate alla pompa di calore è nettamente superiore all'aumento delle emissioni legate alla produzione di isolante.

185, 187,189, 191, 193, 195, 197, 199_ Grafici rappresentanti il confronto tra la riduzione di emissioni per il riscaldamento e l'aumento di emissioni per l'isolante, dovuta al passaggio dall'ipotesi 2 alla 6 , considerando l'edificio riscaldato con pompa di calore o caldaiala

Invece l'aumento dell'inquinamento di produzione nell'ipotesi 4 è quasi in tutti i casi equivalente alla riduzione di emissioni di un anno di riscaldamento con pompa di calore e rispetto al riscaldamento con caldaia a gas ha un tempo di ammortamento che varia dai cinque ai dieci anni.

Come si era quindi già valutato nell'analisi energetica, isolare eccessivamente un solo elemento di fabbrica non porta alcun vantaggio: con una notevole spesa si riduce in modo impercettibile il fabbisogno energetico e, come si è visto in quest'ultimo capitolo, l'aumento delle emissioni in fase di produzione è spesso di molto superiore alla riduzione delle emissioni in fase di gestione.

D'altra parte si è confermato che l'intervento migliore è sempre quello che prevede il miglioramento diffuso delle prestazioni di tutti gli elementi di fabbrica senza eccessi ingiustificati.

Per quanto riguarda gli impianti, si può notare che l'energia fornita dalla rete nazionale sia prodotta con processi molto impattanti, tanto da invalidare l'efficienza delle pompa di calore. L'ideale sarebbe quindi alimentare questo tipo di impianto con fonti meno inquinanti come ad esempio l'uso di pompe di calore ad assorbimento a gas o la produzione energetica da fonti rinnovabili.

La riduzione delle emissioni è, infatti, legata ad una buona progettazione, in generale, dell'edificio, in particolare, degli elementi di fabbrica e dell'impianto, unitamente alla disponibilità di fonti energetiche rinnovabili e di materiali poco inquinanti.

5. CONCLUSIONI

Si è visto che, per affrontare un progetto edilizio in modo da ottenere un edificio sostenibile, bisogna puntare sia sulle prestazioni dell'involucro, sia sull'efficienza dell'impianto e della fonte energetica, sia sull'uso di materiali poco inquinanti. Infatti, privilegiare uno di questi aspetti e trascurare gli altri potrebbe portare a risultati non soddisfacenti soprattutto per quanto riguarda il bilancio finale delle emissioni.

Con l'arrivo del 4 Gennaio 2006 l'Italia, dopo quindici anni di calma assoluta, è stata investita da un vortice di cambiamenti normativi che hanno interessato l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto e l'introduzione obbligatoria delle fonti energetiche in edilizia, ma non lo studio degli impatti ambientali causati dai materiali per l'edilizia.

Come è stato illustrato nel paragrafo 4 del capitolo 1, la normativa sui prodotti si è sviluppata in modo parallelo senza interagire in alcun modo con quella sul risparmio energetico e inoltre non esiste alcun decreto che imponga che un materiale abbia il marchio Ecolabel o una certificazione EPD. La scelta di utilizzare un prodotto poco inquinante è legata unicamente alla sensibilità degli operatori edilizi.

Casa Clima, con l'introduzione della certificazione Casa Clima più, ha provato a integrare i due aspetti, ma mentre le prescrizioni riguardanti l'efficienza dell'edificio sono verificabili oggettivamente e in modo univoco, quelle sui materiali sono unicamente qualitative.

Integrare i due aspetti in modo più rigoroso è effettivamente complicato, in quanto l'assenza di uniformità nelle certificazioni rende difficile il confronto tra materiali alternativi.

Per capire quindi in che modo l'efficienza energetica e la scelta dei prodotti interagiscono, è stato necessario calcolare lo LCA, sia dei materiali che delle fonti energetiche.

L'analisi energetica condotta nel capitolo 2 e l'analisi sugli impatti ambientali condotta nel capitolo 3 e 4, sono state utilizzate per valutare l'effetto delle nuove normative in zone con un clima mite come la Sardegna. Posto che per il raffrescamento esistono solo prescrizioni che riguardano alcuni aspetti costruttivi e che è sicuramente prevista un'integrazione riguardo all'efficienza del comportamento estivo, ci si è chiesti che vantaggi apportino al comportamento invernale

e estivo le direttive riguardanti l'isolamento e più in generale fino a che punto sia conveniente isolare.
La questione che era stata posta all'inizio era se l'obbiettivo debba essere, a prescindere da qualunque altro indicatore, portare la trasmittanza degli elementi di fabbrica ai livelli più bassi che le attuali tecniche costruttive consentono, oppure se ci sia un limite massimo oltre al quale non è opportuno andare. L'opportunità è stata valutata considerando la convenienza economica, intesa in termini di kWh/m^{2}a risparmiati, e il rapporto tra le emissioni causate dal materiale e le emissioni evitate grazie all'uso di quel materiale.
Dai risultati ottenuti è emerso che l'efficienza di un edificio è legata non tanto al raggiungimento di determinate prestazioni dei singoli componenti, quanto ad una progettazione intelligente che, partendo dallo studio del singolo elemento di fabbrica, passi a quello dell' involucro complessivo e infine a quello del sistema edificio-impianto. L'analisi energetica però deve essere associata ad una riflessione attenta sugli aspetti tipologici e costruttivi; si è, infatti, visto come nella casa Serra una scelta sbagliata abbia compromesso definitivamente l'efficienza dell'edificio.
Una progettazione attenta, che consideri tutti questi aspetti, permette quindi di ottenere ottimi risultati di efficienza complessiva senza richiedere prestazioni troppo elevate per gli elementi di fabbrica, cioè dimensionando lo spessore di isolante senza eccedere in modo ingiustificato e quindi riducendo sia i costi di gestione sia le spese e le emissioni in fase di produzione.
Questo approccio alla materia è fondamentale per evitare l'importazione acritica di modelli che nel Nord Europa sono stati applicati con grande successo.
Si è, infatti, visto che, l'alto livello di isolamento non è vantaggioso per un clima mite, in quanto superato un certo livello il risparmio energetico, sia invernale sia estivo, aumenta in modo sempre più irrilevante. In particolare, aumentare le prestazioni di un singolo elemento di fabbrica da un livello medio ad un livello elevato, quasi non influisce sul fabbisogno energetico, ma influisce moltissimo sull'inquinamento prodotto dall'isolante.
L'uso di materiali poco inquinanti risolverebbe la questione delle emissioni in fase di produzione e quindi potrebbe rendere apparentemente superflua la questione del rapporto tra fase di gestione e fase di produzione. Attualmente questo discorso non è ancora trascurabile perché i materiali plastici hanno ancora una grandissima diffusione a causa dei bassi costi, delle ottime prestazioni e del fatto che non sono vietati da alcuna normativa nazionale.
Da queste considerazioni di carattere generale, valide sia per il comportamento estivo sia invernale, ne derivano altre che riguardano la normativa sul rendimento energetico che attualmente riguarda solo quello invernale.

Infatti, richiedere altissime prestazioni per gli elementi di fabbrica, nel caso di interventi parziali, non è vantaggioso né nell'ottica del singolo intervento, né nell'ottica di un successivo completamento dell'adeguamento energetico dell'involucro. Nel primo caso si è visto che il comportamento dell'edificio quasi non migliora rispetto a quello ottenuto con un elemento di prestazione media, nel secondo caso un intervento globale permette di ottenere un fabbisogno globale molto inferiore al massimo consentito anche con prestazioni molto inferiori rispetto a quelle richieste nell'allegato C.
Estendendo il ragionamento agli edifici nuovi si può dire che uno studio attento dell'involucro permette un notevole risparmio in isolamento e quindi minori spese e minor inquinamento; sembra quindi inopportuno permettere di ridurre l'analisi energetica dell'edificio al solo rispetto di normative sui singoli elementi di fabbrica e sull'impianto.
D'altra parte si è visto che, per ottenere un sistema edificio-impianto efficiente e evitare che, in caso si usi un impianto con alto rendimento, questo non porti ad un sottodimensionamento dell'isolamento, è necessario associare alla verifica del fabbisogno di energia primaria il rispetto di prescrizioni riguardanti l'involucro a prescindere dall'impianto.
L'efficienza dell'impianto unita a dispersioni ridotte garantisce un risparmio economico, ma non è detto che garantisca una riduzione di emissioni; ad esempio, a parità di dispersioni dell'involucro, la pompa di calore, pur avendo un rendimento superiore, causa emissioni molto maggiori rispetto ad una caldaia a gas. Si verifica quindi che l'impianto più conveniente dal punto di vista economico è però il più inquinante.
A tale proposito, è importante il progetto di normativa europea che prevede la valutazione dell'energia primaria, associata ad un determinato consumo dell'utenza, in modo da poter determinare quali reali consumi sono necessari per fornire un kWh e quindi quali sono le reali emissioni.
Anche in questo caso, analogamente a quanto si è detto riguardo all'isolante, la soluzione sarebbe utilizzare fonti rinnovabili, che purtroppo sono ancora economicamente scoraggianti: è quindi comprensibile che la normativa energetica e anche la legge finanziaria insistano sull'incentivazione.
In attesa che materiali sostenibili e fonti rinnovabili abbiano maggiore diffusione, è importante progettare l'edificio in modo da equilibrare tutti gli aspetti fondamentali dell'efficienza energetica.
Il successo di queste politiche è indubbiamente legato allo sviluppo della certificazione energetica. Per ora le linee guida per redigere questo documento sono ancora in elaborazione, ma è probabile che sarà articolata in più voci: l'energia primaria per il riscaldamento, le dispersioni globali attraverso l'involucro, l'ener-

gia primaria per l'approvvigionamento idrico sanitario, il contributo delle fonti rinnovabili[66].

L'altro elemento fondamentale sarà l'introduzione nella normativa di prescrizioni riguardanti i consumi per il raffrescamento.

Nei prossimi anni si richiederà un notevole sforzo economico per adeguare gli edifici a prestazioni sempre più stringenti legate al comportamento invernale. Probabilmente, per le zone climatiche più calde sarebbe meglio prevedere per gli anni successivi al 2006 interventi riguardanti l'efficienza energetica estiva, invece che un continuo aumento dello spessore dell'isolante, che oltre un certo livello non è vantaggioso.

6. GLI ULTIMI AGGIORNAMENTI ALLA NORMATIVA

Come si è detto nel primo capitolo la tesi non è stata redatta in base alla versione definitiva del Dlgs 192 come modificata Dlgs n°311 del 29 Dicembre 2006, ma secondo lo schema delle disposizione correttive in quanto la versione definitiva è stata diffusa solo Il primo febbraio 2007. Poiché Il testo definitivo è in alcuni punti diverso dallo schema, per completezza, si è ritenuto opportuno riportare le differenze.

Per quanto riguarda le superfici trasparenti, è stata reinserita la tabella, già presente nella prima versione del Dlgs 192, che regola la trasmittanza dei vetri senza considerare l'infisso e, inoltre, il rapporto massimo, tra le superfici vetrate e la superficie utile dell'edificio, ammesso per poter verificare unicamente la trasmittanza degli elementi di fabbrica e dell'impianto è stato ridotto dallo 0,20 allo 0,18.

Molto più interessanti sono però le due variazioni introdotte riguardo alle superfici opache.

La prima permette di progettare gli elementi di fabbrica con massa superficiale inferiore ai 230 Kg/m^2 se si è in grado di dimostrare che, con soluzione tecniche alternative ad esempio alla chiusura di copertura di laterocemento o alla muratura di elementi di laterizio, si hanno gli stessi effetti positivi sulla temperatura interna estiva. La seconda rende finalmente obbligatorio garantire una trasmittanza di 0,8 W/m^{2}K anche per le chiusure orizzontali intermedie che separano appartamenti diversi, in modo da evitare efficacemente i furti di calore così come si era già dedotto dai calcoli nel capitolo 1.

Infine, nell'allegato A è prevista la conversione 9MJ=1kWh$_e$, ottenendo quindi non l'energia elettrica consumata dall'utenza, ma direttamente l'energia primaria, così come nella tesi è stato valutato applicando il calcolo proposto dal progetto di normativa europea prEN 15315.

Trasmittanza termica dei vetri			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2008 U (W/m^{2}K)	Dal 1 gennaio 2010 U (W/m^{2}K)
A	5,0	4,5	3,7
B	4,0	3,4	2,7
C	3,0	2,3	2,1
D	2,6	2,1	1,9
E	2,4	1,9	1,7
F	2,3	1,7	1,3

200

200_ Trasmittanza termica dei vetri, evoluzione dei valori limite dal 2006 al 2010

BIBLIOGRAFIA

"Annuario dei dati ambientali", APAT, 2005-06 (http://www.apat.it/)
Gian Luca Baldo, Massimo Marino e Stefano Rossi, "Analisi del ciclo di vita LCA. Materiali, prodotti, processi", Edizioni Ambiente, Milano, 2005
Attilio Carotti, "La casa passiva in Europa. Guida professionale alle nuove normativa energetiche e ai modelli di calcolo", Libreria Clup e Rockwool, Milano, 2005
"Elementi di climatizzazione condizionamento dell'aria", AERMEC, (http://www.edilportale.com/climatizzazione/)
ENEA, "Libro Bianco «Energia - Ambiente - Edificio». Dati, criticità e strategie per l'efficienza energetica del sistema edificio", Il Sole 24 Ore Pirola, 2004
"I carichi termici estivi", AERMEC, (http://www.edilportale.com/climatizzazione/)
"La certificazione e l'efficienza energetica del sistema edificio impianto. Aspetti interpretativi, tecnici e procedurale", AICARR, Milano, 2006
Monica Lavagna, "Efficienza energetica degli edifici passivi. Prestazioni termiche – Comportamento ambientale", Rockwool, Milano, 2005
"Manuale di progettazione edilizia – volume 2, criteri ambientali e impianti", Hoepli, Milano, 1998
Gianluca Minguzzi, "Architettura sostenibile. Processo costruttivo e criteri biocompatibili", SKIRA, Milano, 2006
"Mitigation of CO_2. Emissions from the Building Stock", ECOFYS, Germany, 2004 (http://www.eurima.org/downloads/ecofys_repoft_final_160204.pdf)
"Piano regionale dei trasporti", CRIMM, Cagliari, 2001 (http://www.regione.sardegna.it/tematiche/trasporti/viabilita.html)
"Piano regionale delle merci", PTM, Cagliari, 2001 (http://www.regione.sardegna.it/)
"PROTOCOLLO ITACA per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio. Le aree di valutazione e le schede", ITACA, Roma, 2004 (http://www.itaca.org/tematiche/edilizia-sostenibile/protocollo-itaca.htm)
"PROTOCOLLO ITACA per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio. Relazioni e documenti", ITACA, Roma, 2004 (http://www.itaca.org/tematiche/edilizia-sostenibile/protocollo-itaca.htm)
"PROTOCOLLO ITACA SINTETICO per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio", ITACA, Roma, 2005 (http://www.itaca.org/tematiche/

edilizia-sostenibile/protocollo-itaca.htm)
“Rapporto energia ambiente”, ENEA, 2005 (http://www.enea.it/)
Marco Sala, “Recupero edilizio e bioclimatica. Strumenti, tecniche e casi di studio”, Sistemi editoriali Se, Napoli, 2001
Uwe Wienke, “Edifici passivi. Standards, requisiti ed esempi”, Alinea, 2002
Uwe Wienke, “Manuale di bioedilizia”, Dei, Roma, 2002
Riviste
Modulo, 274/2001
Modulo, 286/2002
Modulo, 292/2003
Modulo, 295/2003
Modulo, 298/2003
Modulo, 299/2004
Modulo, 300/2004
Modulo, 302/2004
Modulo, 309/2005
Modulo, 315/2005
Modulo, 318/2006
Costruire in laterizio, Maggio-Giugno/2006

Siti internet consultati
www.aermec.it
www.aicarr.it
www.aipe.org
www.anab.it
www.anit.it
www.apat.it
www.assotermica.it
www.bioecolab.it
www.celenit.com
www.ecolabel.it
www.ecocerved it
www.ediliziainrete.it
www.edilportale.com
www.enea.it
www.envipark.com
www.environdec.com
www.epsass.it
www.euchora.com

www.eurima.org

www.foamglas.it

www.fortlan.it

www.freudenbergpolitex.com

greenbuilding.ca

www.grtn.it

www.ilsolea360gradi.it

www.itaca.org

www.kenaf-fiber.it

www.minambiente.it

www.minergie.ch/it

www.polimerica.it

www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/2902/klimahaus/index_i.htm

www.qualityi.it

www.regione.sardegna.it/

www.rockwool.it

www.SAIEDUE.it

www.tecnoclima.ch

www.uni.com

www.usgbc.org

NOTE

[1]United Nations Framework Convention on Climate Change.

[2]I principali gas ad effetto serra sono: il biossido di carbonio (CO_2), il metano (CH_4), il protossido d'azoto (N_2O), i fluorocarburi idrati (HFC), i perfluorocarburi (PFC), l'esafluoro di zolfo (SF_6).

[3]Per energia primaria si intende l'energia che non è stata sottoposta a nessuna trasformazione.

[4]Attualmente in sostituzione della certificazione energetica deve essere redatto un attestato di qualificazione energetica.

[5]Direttiva del Consiglio intesa a limitare le emissioni di biossidi di carbonio migliorando l'efficienza energetica.

[6]Fino ad un massimo di ulteriori 25 cm per gli elementi verticali e di copertura e di ulteriori 15 cm per quelli orizzontali intermedi.

[7]Il FEN, fabbisogno energetico normalizzato per la climatizzazione invernale, è il fabbisogno energetico convenzionale per la climatizzazione invernale diviso per il volume riscaldato e i gradi giorno della località (riportati nell'allegato A del Dpr 412 del 93). L'unità di misura utilizzata è il kJ/m^3GG. Per fabbisogno energetico convenzionale si intende la quantità di energia primaria globalmente richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura al valore costante di 20 °C durante la stagione di riscaldamento il cui periodo è fissato dagli art.8-9 del Dpr 412.

[8]Spesso gli uffici tecnici dei piccoli comuni non richiedono nemmeno la relazione ai sensi della legge 10/91.

[9]Le modalità saranno definite da successivi decreti.

[10]Con l'entrata in vigore del Dlgs 192 la norma UNI 10344 è stata sostituita dalla UNI EN 832.

[11]Sull'argomento è in fase di redazione la normativa europea prEN 15315.

[12]Con le modifiche del 22/12/2006 il fabbisogno di energia primaria per edifici residenziali (Classe E1) si misura in kWh/m^2a, mentre per gli edifici è in kWh/m^3a.

[13]Il "rendimento globale medio stagionale" dell'impianto termico è definito come rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche

[14]Per fattore di forma si intende il rapporto tra la superficie S, espressa in m^2, che

delimita il volume riscaldato V verso l'esterno (per esterno si intendono anche gli ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) e il volume lordo V, espresso in m^3, che la superficie delimita.

[15]A tale proposito è necessaria un'ulteriore considerazione, infatti, poiché nell'articolo 2 comma 1° l'edificio di nuova costruzione è definito come un edificio per cui sia stato fatta richiesta del permesso di costruire dopo l'entrata in vigore del Dlgs 192, alcuni tipi di ristrutturazione devono essere considerati edifici nuovi perché, secondo il testo unico dell'edilizia, necessitano del permesso di costruire a prescindere dalle dimensioni dell'edificio.

[16]Le prestazioni impiantistiche riguardano il rendimento del generatore di calore, la temperatura del fluido termovettore e la presenza di centraline di termoregolazione.

[17]Chartered institution of building services engineers.

[18]Libro Bianco "ENERGIA - AMBIENTE - EDIFICIO" - F.IN.CO. – ENEA, 2004. Col patrocinio del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

[19]1 tep =(tonnellata equivalente di petrolio) = 10000000 kcal.

[20]I decreti saranno adottati su proposta del Ministro delle attività produttive, di concerto col Ministro delle infrastrutture e dei trasporti e con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio.

[21]"Investire nel sole", Silvia Panfighi e Francesca Pinzauti, Modulo 298, Febbraio 2004, pag. 38.

[22]Il Wp (Watt di picco) è l'unità di misura riconosciuta a livello internazionale per le celle fotovoltaiche e indica la potenza erogata da un dispositivo F.V. in condizioni standard di funzionamento, cioè irraggiamento di 1000W/m^2 e temperatura di 25°C.

[23]Per impianto gas solare si intende un impianto solare termico per la produzione di acqua calda, integrato con una caldaia a gas, che entra in funzione solo in caso di necessità.

[24]Sono previste anche nella Finanziaria 2007.

[25]Per il 2006 sono stati messi a disposizione fondi per le energie rinnovabili dalle regioni: Campania, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Piemonte, Trentino, Umbria e Valle D'Aosta. Gli ultimi finanziamenti in Sardegna risalgono al 2005.

[26]Il Conto energia è normato dal Decreto 28/07/2005 "Criteri di incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare", redatto in attuazione del Decreto Legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003 (in attuazione della direttiva 2001/77/CE).

[27]I certificati verdi sono emessi dal gestore del mercato elettrico a favore di chi produce energia elettrica dalle fonti energetiche rinnovabili.

[28]I certificati bianchi (o titoli di efficienza energetica) sono emessi dal gestore del

mercato elettrico a favore di chi ha conseguito i risparmi energetici prefissati.

[29]A partire dallo 01/10/2006 la detrazione Irpef è stata nuovamente fissata al 36%.

[30]Il GRTN è stato individuato quale "soggetto attuatore" che eroga le tariffe incentivanti nella Delibera n° 188/05 adottata il 14/09/2005 dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG).

[31]Sono stati incrementati gli obbiettivi del D.M. 28 luglio 2005 che auspicava il raggiungimento di 300 MW di potenza con 100 MW incentivabili (art. 11).

[32]Istituto per la Trasparenza l'Aggiornamento e la Certificazione degli Appalti.

[33]Nel centro di ricerca Piemontese lavora, come responsabile dell'area tematica eco-efficienza in edilizia, l'architetto Andrea Moro coordinatore per l'Italia del GBTool.

[34]Friuli Venezia Giulia, Provincia di Trento, Abruzzo, Molise, Emilia Romagna, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Piemonte, Sicilia, Toscana, Umbria, Valle d'Aosta, Veneto. Quindici su venti.

[35]ITACA ha elaborato lo schema di tali linee guida per le norme regionali per l'edilizia sostenibile

[36]Recentemente la classe di valutazione -2 è stata abolita perché ritenuta superflua.

[37]Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Società della tossicologia e della chimica ambientale)

[38]Linee guida per lo LCA: un codice della pratica.

[39]Il materiale costituente il prodotto giunto a fine vita è utilizzato come materia prima per ottenere un nuovo prodotto, anche uguale al primo.

[40]Il prodotto è riutilizzato per la stessa funzione senza subire sostanziali modifiche, un esempio è il "vuoto a rendere".

[41]In realtà i rifiuti possono essere ulteriormente riutilizzati attraverso il compostaggio dei rifiuti organici e il trattamento delle acque reflue.

[42]eq= equivalenti.

[43]Spesso la politica integrata dei prodotti si indica con la sigla IPP (integrated product policy).

[44]ISO: Organizzazione internazionale di normalizzazione.

[45]UNI: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

[46]L' audit ambientale è uno strumento che permette ad un'azienda di conoscere la propria situazione in relazione alle leggi vigenti in campo ambientale e di valutare gli impatti, i rischi e le opportunità ambientali collegabili con l'attività svolta.

[47]Regolamento (CE) N. 1980/2000.

[48]EPDs program (Canada); JEMAI Type III program (Giappone); NHO Type III

program (Norvegia); EPD System (Svezia).

[49]Consiglio svedese per la gestione ambientale.

[50]Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

[51]Sistema nazionale di accreditamento degli organismi di certificazione.

[52]Società che fornisce servizi di controllo, certificazione e valutazione.

[53]Ricerca elaborata dall'Architetto Monica Lavagna con il contributo della Roockwool.

[54]L'isolante utilizzato è la lana di roccia prodotta dalla rockwool.

[55]Il Dlgs 311 del 29-12-2006, ha finalmente introdotto l'obbligo di isolare anche le chiusure intermedie tra appartamenti contigui.

[56]Bidonì, Sorradile, Nughedu S.Vittoria, Ardauli, Ula Tirso, Neoneli, Busachi, Allai, Fordongianus, Villanova Truschedu.

[57]Il gruppo di lavoro dell'Università di Cagliari era costituito dal Prof. Ing. Vinicio De Montis, dal Dott. Ing. Martina Basciu e dal Dott. Ing. Claudia Loggia.

[58]I risultati sono stati analizzati secondo la prima versione del Dlgs 192, in realtà la recentissima modifica del 29 Dicembre 2006 per edifici con la destinazione d'uso della Casa Serra prevede una verifica basata su kWh/m^3a.

[59]Non sono state riportate nel grafico le ipotesi 1-3-5 perché sono semplicemente le varianti, con la chiusura verticale intonacata, rispettivamente dello stato di fatto e delle ipotesi 2 e 4.

[60]Il fattore di forma è stato calcolato considerando gli appartamenti adiacenti (sia sullo stesso piano sia sul piano superiore o inferiore) come ambienti riscaldati e il vano scala come ambiente non riscaldato.

[61]La resistenza alla diffusione del vapore indica di quante volte è superiore la resistenza che un determinato materiali oppone al passaggio del vapore rispetto a quella di una lamina d'aria dello stesso spessore e nelle stesse condizioni climatiche. La lamina d'aria ha un valore pari a 1, fino a 10 è una resistenza bassa, per valori compresi tra 10 e 50 è media, tra 50 e 500 è relativamente alta, maggiore di 15000 è molto alta, per valori superiori ai 100000 si parla di materiali assolutamente impermeabili.

[62]L'igroscopicità è la proprietà che ha un materiale di assorbire l'umidità atmosferica, si esprime in percentuale di peso o di volume e varia in base all'umidità relativa dell'aria.

[63]L'Agenzia Internazionale della Ricerca sul Cancro (IARC), il 16 Ottobre 2001, ha stabilito che le lane minerali non possono essere considerate cancerogene per l'uomo.

[64]Si tratta della Legge 64/86, riguardante gli interventi sul Mezzogiorno, che prevedeva l'abbattimento delle tariffe relative al trasporto da e per la Sardegna di determinate merci e prodotti e della L. 887/84 (Legge finanziaria 1985) che pre-

vedeva l’abbattimento fino al 60 % dei costi di trasporto su ferrovia per i minerali prodotti e lavorati in Sardegna.

[65]L’intervento della Commissione Europea per distorsioni nelle condizioni di concorrenza tra i modi di trasporto ha reso necessaria l’abrogazione delle tariffe agevolate.

[66]Si veda ad esempio BESTCLASS, sistema di certificazione elaborato dal Best del Politecnico di Milano.